



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

DISSERTAÇÃO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

**CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA CANA-
DE-AÇÚCAR CULTIVADA SOB CONDIÇÕES DE ADUBAÇÃO
SILICATADA E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO**

HAMILTON SANTOS ALVES

Campina Grande – Paraíba

Julho – 2011

**CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA CANA-
DE-AÇÚCAR CULTIVADA SOB CONDIÇÕES DE ADUBAÇÃO
SILICATADA E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO**

HAMILTON SANTOS ALVES

Engenheiro Agrônomo

**CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA CANA-
DE-AÇÚCAR CULTIVADA SOB CONDIÇÕES DE ADUBAÇÃO
SILICATADA E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências do Curso para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola na Área de Concentração em Irrigação e Drenagem.

Orientadores: Prof. Dr. José Dantas Neto

Campina Grande - Paraíba

Julho- 2011



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCCG

A474c Alves, Hamilton Santos.

Crescimento e produtividade da cultura da cana-de-açúcar cultivada sob condições de adubação silicatada e lâminas de irrigação / Hamilton Santos Alves. — Campina Grande 2011.

51 f. : il. color

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)- Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

Orientador: Prof. Dr. José Danas Neto

1. Escória siderúrgica L. 2. Cana-de-açúcar. 3. Evapotranspiração. I. Título.

CDU – 631.62/67(04)



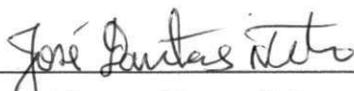
PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

HAMILTON SANTOS ALVES

**CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR
CULTIVADA SOB CONDIÇÕES DE ADUBAÇÃO SILICATADA E LÂMINAS
DE IRRIGAÇÃO**

BANCA EXAMINADORA:

PARECER:



Prof. Dr. José Dantas Neto – Orientador

APROVADO



Profa. Dra. Soahd Arruda Rached Farias - Examinadora

APROVADO



Dr. Gleibson Dionizio Cardoso - Examinador

Aprovado

Campina Grande - Paraíba

Julho- 2011

OFEREÇO

A meus Pais João Alves Dias e Neuza Maria Santo, e os meus irmãos, Jamerson Santos, Janeuza Santos e José Joãnio Santos.

DEDICO

A minha esposa Adeilma Gervasio Melo Alves, minha filha Maria Clara e Maria Tirbutino Melo (in memoriam).

Agradecimentos

A DEUS, que sempre esteve ao meu lado, presenteando-me com saúde, paz, amor, coragem e muita força para realizar este trabalho, a fim de que eu conquistasse mais uma etapa na minha vida.

A minha esposa e filha pela compreensão e dedicação nos momentos difíceis.

A meus pais, meus irmãos e a todos os meus familiares pelo apoio, carinho e estímulo durante esta caminhada.

Ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, pela oportunidade na realização deste curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nivel Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

A RecMix do Brasil pela doação de Agrossilício, fonte de silício utilizada no experimento.

A Fazenda Ponta da Serra no município de Queimadas local da pesquisa (campo).

Ao Dr. Vagner, proprietário da Fazenda Ponta da Serra pelo apoio e amizade.

Aos meus orientadores Prof. Dr. José Dantas e Dra. Lucia por todos os ensinamentos transmitidos e valiosa contribuição acadêmica e pela amizade e incentivo.

Aos funcionários do Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS), Chico, Doutor e Wilson, pela grande ajuda na realização nas análises e pela amizade.

Às funcionárias da Coordenação de Pós-Graduação, Elaine e D. Cida, pela ajuda irrestrita.

Aos Professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Hugo, Vera, José Dantas e Carlos Azevedo, por todos os ensinamentos e amizade.

Aos colegas de curso, Francisco Figueiredo de A. Junior, Sebastião, Eloy, Renê, Jerônimo, Marcos Eric, Allan, Leda, Kelliane, Nivton, Kaline, Iedo, Ana Cristina, Rosalve, Diva, Evami, Jorge, Leandro, Janivan, Madson, Alexandra, Mônica, Messias, Cícero Cordão, Roger, Vinicius, Amilton, Silvana, Joelma, Robi, Karina, Tatiane e Walber, Kleber, pela ajuda nas horas mais difíceis e união.

Ao Eng^o Agrônomo Francisco Figueiredo de A. Junior, pela amizade e convívio durante todo o curso e preparação dessa dissertação.

Ao grupo Agropecuária Campinense e GL pela concessão a me oferecido para cursar o Mestrado.

Aos Diretores da Agropecuária e GL, Pedro José da Silva e Patrícia Venâncio da Silva, pelo apoio e compreensão a me imputada e aos funcionários Matheus, Diego. Sauvam, Iara e Fausto pela amizade e companheirismo. Aos amigos Mauricio Wanderley, Engº Agrônomo; Raimundo, Técnico Agrícola (Timac); Jaime, Engº Agrônomo (Timac) por confiar no meu potencial e profissionalismo.

Agradeço a todas as pessoas que direta ou indiretamente, contribuíram para a minha formação profissional, visando à realização desta pesquisa.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo geral	3
2.2 Objetivos específicos	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Silício	4
3.1.1 Principais características dos silicatos	4
3.1.2 Silício na planta	6
3.2 Cultura da cana-de-açúcar	9
3.2.1 Considerações gerais sobre a cultura	9
3.2.2 Necessidades hídricas	11
3.3 Irrigação na cana-de-açúcar	14
3.3.1 Evapotranspiração	14
4. MATERIAL E MÉTODOS	18
4.1 Localização do experimento, clima e solo	18
4.2 Variedade e plantio	20
4.3 Tratamentos e delineamento experimental	20
4.4 Irrigação da cana-de-açúcar	21
4.4.1 Qualidade da água de irrigação	21
4.4.2 Equipamentos de irrigação	22
4.4.3 Manejo da irrigação	23
4.5 Variáveis de crescimento analisadas	25
4.5.1 Altura da planta	25
4.5.2 Diâmetro caulinar	25
4.5.3 Área foliar	25
4.5.4 Massa seca da parte aérea	25
4.5.5 Massa seca da raiz	26
4.6 Produtividade da cana-de-açúcar	26
4.7 Análise dos dados	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1 Variáveis de crescimento analisadas	29
5.1.1 Altura da planta	29
5.1.2 Diâmetro caulinar	30
5.1.3 Área foliar	32
5.1.4 Massa seca da parte aérea	33
5.1.5 Massa seca da raiz	34
5.2 Produtividade da cana-de-açúcar	36
6. CONCLUSÕES	39
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área experimental. Queimadas, PB.....	18
Figura 2: Precipitação pluvial na área experimental. Fazenda Ponta da Serra, Queimadas, PB, 2010.....	20
Figura 3: Croqui da área experimental com as lâminas de irrigação distribuídas em faixas e as dose de silício compondo as subparcelas. Fazenda Ponta da Serra, Queimadas-PB, 2010.....	21
Figura 4: Regressão da altura da planta da cana-de-açúcar aos 330 dias após o plantio, em função das doses de silício ($p<0,05$ e $p<0,01$). Fazenda Ponta da Serra, Queimadas, PB. 2010.....	30
Figura 5: Regressão do diâmetro caulinar da cana-de-açúcar aos 330 dias após o plantio, em função das lâminas de irrigação ($p<0,05$ e $p<0,01$). Fazenda Ponta da Serra, Queimadas, PB. 2010.....	31
Figura 6: Regressão da área foliar da cana-de-açúcar aos 330 dias após o plantio, em função das lâminas de irrigação ($p<0,05$ e $p<0,01$). Fazenda Ponta da Serra, Queimadas, PB. 2010.....	33
Figura 7: Regressão da matéria seca da parte aérea da cana-de-açúcar aos 330 dias após o plantio, em função lâminas de irrigação ($p<0,05$ e $p<0,01$). Fazenda Ponta da Serra, Queimadas, PB. 2010.....	34
Figura 8: Regressão da massa seca da raiz da cana-de-açúcar aos 330 dias após o plantio, em função das doses de silício ($p<0,05$ e $p<0,01$). Fazenda Ponta da Serra, Queimadas, PB. 2010.....	35
Figura 9: Regressão da massa seca da raiz da cana-de-açúcar aos 330 dias após o plantio, em função das lâminas de irrigação ($p<0,01$). Fazenda Ponta da Serra, Queimadas, PB. 2010.....	36
Figura 10: Regressão da produtividade, em função das lâminas de irrigação ($p<0,05$ e $p<0,01$). Fazenda Ponta da Serra, Queimadas, PB. 2010.....	37
Figura 10: Regressão da produtividade, em função das doses de silício ($p<0,05$ e $p<0,01$). Fazenda Ponta da Serra, Queimadas, PB. 2010.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Potenciais mínimos de água no solo e água disponível consumida segundo vários autores, citados por Scárdua e Rosenfeld (1987).....	11
Tabela 2. Coeficiente de cultivo(Kc) para cana-planta com diferentes métodos de estimativa de Eto, segundo Barbieri(1981).....	12
Tabela 3. Coeficiente de cultivo(Kc) para cana-soca, segundo Doorenbos & Pruitt (1975).....	12
Tabela 4. Coeficiente de cultivo(Kc) para cana-de-açúcar segundo o PLANALSUCAR citado por Scardua & Rosenfeld (1987).....	13
Tabela 5. Análise físico-hídrica do solo da área experimental. Fazenda Ponta da Serra Queimadas, PB, 2010.....	19
Tabela 6. Análise química do solo da área experimental. Fazenda Ponta da Serra, Queimadas, PB, 2010.....	19
Tabela 7. Análise química da água de irrigação utilizada na área experimental, Fazenda Ponta da Serra, Queimadas, PB, 2010.....	22
Tabela 8: Níveis de crescimento da cana-de-açúcar.....	24
Tabela 9. Lâmina de água de irrigação, precipitação, precipitação efetiva e lâmina total aplicada à cultura. Fazenda Ponta da Serra, Queimadas, PB, 2010.....	25
Tabela 10. Resumos das análises de variâncias da altura da planta (AP), área foliar (AF), diâmetro do caule (DC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e da produtividade da cana-de-açúcar SP 791011, submetida em diferentes lâminas de água e doses de silício Queimadas. PB. 2010.....	28
Tabela 11: Valores médios das variáveis altura da planta (AP), área foliar (AF), diâmetro do caule (DC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e da produtividade da cana-de-açúcar SP 791011, submetida em diferentes lâminas de água e doses de silício. Fazenda Ponta da Serra, Queimadas. PB. 2010.....	29

CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA CANA-DE-ACÚCAR CULTIVADA SOB CONDIÇÕES DE ADUBAÇÃO SILICATADA E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO

RESUMO: Considera-se que a aplicação de resíduos siderúrgicos, em doses que reflitam o incremento de silício como nutriente e não como corretivo de acidez do solo, propicia a formação uma camada extra na célula propiciando maior resistência à parede celular, tornando, a planta, mais resistente a danos mecânicos e ao estresse hídrico. O experimento foi conduzido sob condições de campo na área pertencente à fazenda Ponta da Serra situada na cidade de Queimadas, PB, localizada pelas coordenadas geográficas: 7° 22' 00" de latitude sul, 36° 00' 06" de longitude. Objetivou-se, portanto, avaliar os efeitos de silício presente em escória de siderurgia, e lâminas de água, no desenvolvimento de plantas de cana-de-açúcar. Os tratamentos resultaram da combinação de cinco lâminas de irrigação referentes à reposição de água de 50, 75, 100, 125 150 % da evapotranspiração da cultura, com quatro doses de silicato de cálcio e magnésio correspondentes a 0, 300, 600 e 900 kg ha⁻¹ de SiO₂. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas, sendo as lâminas de água distribuídas em parcelas e as doses de silício compondo as subparcelas com três blocos. Verificou-se que as variáveis de crescimento como altura da planta, comprimento e diâmetro do caule, área foliar e massa seca da parte aérea e da raiz foram afetadas pelas lâminas de irrigação e/ou pela adubação silicatada. A produção da cana-de-açúcar foi significativamente influenciada pelas dosagens de silício e lâminas de irrigação, obtendo-se a maior produção com a dosagem de 900 Kg ha⁻¹ de silício, e na lâmina de irrigação correspondente a 100% ETc.

Palavras chave: Escória siderúrgica, *Saccharum officinarum*, Evapotranspiração

GROWTH AND PRODUCTIVITY OF CULTURE OF SUGARCANE CULTIVATED UNDER CONDITIONS OF FERTILIZATION AND IRRIGATION DEPTHS IN SILICATE

ABSTRACT: The experiment was conducted under field conditions in the area belonging to the farm situated on the Ponta da Serra City Queimadas, PB, located by geographical coordinates: 7 ° 22 '00 "south latitude, 36 ° 00'06" longitude. It considers that the application of steel industry residues in doses that reflect the growth of silicon as a nutrient and not as a corrective of soil acidity leads to the saturation, to form an extra layer in the cell providing greater slice to the cell wall, making the plant more resistant to mechanical damage and to water stress. The objective, for both, to assess the effects of silicate, present in steel industry waste, and water blades on the sugarcane plants development. The treatments were the combinations of five irrigation levels concerning water replacement of 50, 75, 100, 125% and 150 % ETC of crop evapotranspiration, with four doses of calcium silicate and magnesium corresponding to 0, 300, 600 and 900kg ha⁻¹ of silicon. The experimental design was in a randomized block in split plots, and the irrigation water divided into tracks and silicon levels composing subplots. It was found that the growth variables such as plant height, length stem diameter, leaf area and shoot dry weight and the root were implemented by irrigation water and/ or silicate fertilization. Sugrcane yield was significantly influenced by the doses of silicate and water blades, it was obtained the largest grain production with the silcate dosage of 900 kg ha⁻¹ and irrigation 125% of the ETC blade replacement.

KEYS WORDS: Steel slag, *Saccharum officinarum*, evapotranspiration

1. INTRODUÇÃO

O maior fator limitante, encontrado pelos agricultores inseridos na região semi-árida do Nordeste brasileiro, para manter suas produções agropecuárias em níveis economicamente viáveis, é a escassez de água, ou melhor dizendo, a má distribuição das chuvas. Visto que, grande parte das precipitações concentra-se em três ou quatro meses, sendo, em geral, os demais meses restantes do ano, isentos de chuvas.

O reuso de águas servidas, ou seja, águas residuárias, é uma prática comum em países como Israel, que pratica irrigação utilizando água decorrente de esgotos domésticos, previamente tratados. Liberando as fontes de água de boa qualidade para abastecimento público e outros usos prioritários.

No semi-árido, as zonas agricultáveis situadas nos arredores de cidades produtoras de esgotos previamente tratados, o emprego da irrigação utilizando água residuária seria uma forma de aproveitamento otimizado dos recursos hídricos da região, potencializando novas formas de produção agrícola, e gerando renda para produtores de áreas que carecem com a falta de água.

Segundo Doorembos & Kassan (1979), a demanda hídrica da cultura está entre 1500 e 2500 mm. Sabe-se que as plantas estão sujeitas a uma grande variedade de estresses ambientais, incluindo temperaturas inadequadas, condições físico-químicas de solo desfavoráveis e várias doenças e pragas. Contudo, pode-se dizer que o déficit hídrico reduz o crescimento e a produtividade vegetal mais que todos os outros estresses combinados, pois ocorre em qualquer local, mesmo nas regiões consideradas úmidas (KRAMER, 1983).

Entre as principais fontes de silício para aplicação no solo tem-se: a wollastonita (silicato de cálcio natural), os mais variados tipos de escórias básicas de siderurgia, cimento e termofosfatos. As escórias siderúrgicas são resíduos da metalurgia do ferro, através de processamento em altas temperaturas, geralmente acima de 1400 °C. Neste processo uma carga composta por minério de ferro (hematita Fe^2O_3), limonita ($Fe^2O_3 \cdot 2H_2O$) ou magnetita (Fe^3O_4), carvão coque e um fundente, calcário ($CaCO_3$), é introduzida na parte superior do forno e, através da ação térmica, é obtido o ferro-gusa e a escória siderúrgica.

Para alguns pesquisadores como Epstein (1999) & Korndörfer et al. (2002), o acúmulo de silício nas paredes celulares atribui uma maior resistência mecânica às plan-

tas e a formação de uma camada dupla de sílica cuticular nos órgãos de transpiração reduz as exigências de água pelas culturas com característica de absorção de silício.

A cultura da cana-de-açúcar no Nordeste brasileiro é cultivada predominantemente nas zonas úmidas do nordeste brasileiro, cujas lavouras foram direcionadas à produção e exportação do açúcar e do álcool, assumindo características de uso extensivo da terra. Havendo uma grande absorção de mão-de-obra e polarizada com dependência econômica de diversos municípios ao seu redor. Contudo, o cultivo da cana-de-açúcar em áreas do semi-árido com potencial de reuso de águas residuárias, traz uma importante fonte de renda para os agricultores que habitam esses locais, visto que o produto da cana-de-açúcar é bem diversificado, podendo ser produzido rapadura, açúcar mascavo, cachaças absorvíveis em mercados nacionais ou internacionais, além do uso das folhas da planta para alimentação de animais, ou mesmo o uso de parte da produção da cana-de-açúcar para complementação de silagem oferecida ao gado em períodos de estiagem prolongada.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos do uso do silício presente em escória de siderurgia, e lâminas de água na cana-planta da cultura da de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) cultivadas em condições de campo.

2.2 Objetivos específicos

1. Estudar o desempenho da cana-planta quanto a doses crescentes de silício e diferentes lâmina de irrigação para altura, diâmetro do caule, área foliar, massa seca da parte aérea e da raiz; além da produtividade
2. Identificar a lâmina de irrigação aliada às doses de silício, que reflita na maior produção de colmos da cana-de-açúcar.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 SILÍCIO

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante, em peso, na crosta terrestre e componente majoritário de minerais do grupo dos silicatos (RAIJ, 1991). Na natureza, encontra-se combinado com outros elementos, principalmente o oxigênio, formando os tetraedros de silício (SiO_4). Jackson (1964) afirma que 80 % dos minerais das rochas ígneas e metamórfica são compostos de silicatos.

O dióxido de silício (SiO_2), vulgarmente chamado sílica, é um dos mais importantes compostos de silício que ocorrem na natureza. Dentre as formas cristalinas tem-se o quartzo, a tridimita e a cristobilita, sendo o quartzo a forma mais comum e, quando cristalizado, é o principal componente das areias brancas (FASSBENDER, 1987).

Mesmo sabendo que o silício é um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre e que a maioria dos solos contém consideráveis quantidades de silício, cultivos consecutivos podem reduzir o nível deste elemento até o ponto em que a adubação com silício seja necessária para a obtenção de máximas produções (KORNDÖNFER & DATNOFF, 1995). Para Nascimento et al. (2009), os principais drenos de silício nos solos incluem a precipitação deste elemento em soluções, a polimerização de ácidos monossilícicos, formando ácidos polissilícicos, lixiviação, adsorção em óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, além da absorção pelas plantas.

Segundo Korndöner et al. (2002), as principais formas de silício, do ponto de vista agrônômico, são: a) silício solúvel (H_4SiO_4 - ácido monossilícico) que, desprovido de cargas elétricas, tem interessantes consequências no comportamento da sílica com relação aos vegetais (RAIJ & CAMARGO, 1973); b) silício adsorvido ou precipitado com óxido de ferro e alumínio e nos minerais silicatados (cristalinos ou amorfos).

3.1.1. Principais características dos silicatos

Os silicatos de cálcio e magnésio são constituídos, primordialmente, de Ca-SiO_3 e MgSiO_3 . Segundo Korndöner et al. (2002) os efeitos benéficos da aplicação de silicatos de cálcio e magnésio estão associados, normalmente, ao aumento da disponibilidade do silício, à elevação do pH do solo e ao aumento de cálcio e magnésio trocáveis no solo, promovendo maior e menor saturação por bases e alumínio, respectivamente. Para os referidos pesquisadores os silicatos podem reduzir a toxicidade

do ferro (Fe), alumínio (Al) e manganês (Mn) para as plantas, além de aumentar a disponibilidade de fósforo (P) no solo.

Os silicatos têm, no solo, comportamento similar ao dos carbonatos de cálcio e magnésio, sendo capazes de elevar o pH e neutralizar o alumínio trocável. Seu efeito como corretivo de acidez do solo foi explicado por Alcarde (1992), que demonstra a ação neutralizante do silicato nas equações 1, 2 3 e 4.

Equações



O cálculo para recomendação dos silicatos, por terem comportamento semelhante ao dos carbonatos, pode ser feito através de qualquer um dos métodos de recomendação de calagem. Vale salientar que, em solos corrigidos, isto é, com pH acima de 6,0 e/ou saturação de bases acima de 60%, as doses de silicato a serem aplicadas não devem superar os 800 kg há⁻¹ (KORNDÖRFER et al., 2002).

A correção da acidez do solo é feita, tradicionalmente, com o uso de calcários; no entanto, muitos resíduos industriais, por terem na sua composição elementos que podem substituir esses calcários, vêm sendo pesquisados quanto à viabilidade de seu uso na agricultura. Dentre esses resíduos se tem a escória de siderurgia, constituída quimicamente por óxidos e silicatos de cálcio e de magnésio, óxidos de ferro e manganês, ferro metálico e outros elementos em menores proporções

As pesquisas realizadas com escórias têm demonstrado, na sua grande maioria, o poder de aumentar os teores de cálcio e magnésio do solo assim como de neutralizar a acidez do solo (PRADO & FERNANDES, 2000; ASSIS et al., 2007; REZENDE et al., 2007). Esta neutralização ocorre porque os silicatos, presentes nas escórias, promovem a reação dos ânions SiO₃⁻² com a água, liberando hidróxidos (OH⁻) para a solução do solo (KORNDÖRFER et al., 2009). Entretanto, alguns experimentos mostram que os efeitos deste resíduo na reação do solo, são diferentes daqueles correspondentes ao calcário, ou seja, apresentam reação mais lenta em doses equivalentes em carbonato de cálcio (FÁZIO & GUTIERREZ, 1989; FORTES, 1993).

Prado & Korndörfer (2003), observaram que a aplicação de escória de siderurgia (fonte de silício) na dose de até 4000 kg ha⁻¹ em um Latossolo Vermelho Amarelo, tendeu a reduzir a acidez do solo.

Chaves & Farias (2008), comparando escória de siderurgia com calcário dolomítico no que diz respeito à correção de acidez do solo, observaram que ambos foram eficientes nesta correção tendo as reações de neutralização sido mais rápidas com o uso da escória de siderurgia.

3.1.2. Silício na planta

O silício tem sido considerado elemento essencial para um número de espécies de *Poaceae* e *Cyperaceae*, mas sua importância para todas as plantas superiores ainda não foi confirmado. Segundo Epstein (1999) ainda faltam evidências da participação do elemento em moléculas de algum constituinte essencial para as plantas e/ou no metabolismo das mesmas. Entretanto, os efeitos benéficos do silício têm sido observados em diversas plantas incluindo-se desde as espécies consideradas acumuladoras até as não acumuladoras do elemento. Segundo Ma et al. (2003), o silício se acumula a níveis bastante elevados nos tecidos de quase todas as plantas. Embora o conteúdo deste elemento seja baixo em leguminosas (JONES & HANDRECK, 1967), estudos recentes têm mostrado que o silício promove o crescimento de *Glycine max* (LI et al., 2004) e de *Vigna unguiculata* (L.) (MALI & AERY, 2009), quando aplicado nesta última cultura, em baixas concentrações.

Segundo esses autores, elevadas concentrações de silício reduzem os teores de ferro nas folhas e raízes da *Vigna unguiculata* (L.) provocando clorose e redução na produção de matéria seca.

Gomes et al. (2009), avaliando diferentes doses de silício e formas de aplicação na cultura da batata inglesa, não constataram o efeito da adubação com silício no desenvolvimento e produtividade da cultura. Neste sentido, Faria Junior et al. (2009), relatam que a aplicação de silício em arroz não afetou os componentes de crescimento e produção da referida cultura.

Os silicatos de cálcio e de magnésio podem ser utilizados como fonte de silício para as plantas, uma vez que cultivos consecutivos reduzem o nível do elemento no solo e sua reposição se faz conveniente (KORNDÖRFER et al., 2002). O silício é absorvido pelas plantas na forma de ácido monossilícico H₄SiO₄ (YOSHIDA, 1975 &

TAKAHASHI, 1995) e, uma vez absorvido, é facilmente translocado no xilema. Segundo Yoshida (1975), 99 % de silício acumulado no interior da planta se encontram na forma de ácido polimerizado; o restante, 1 %, se encontra na forma coloidal ou iônica. Já no interior da planta o elemento é depositado principalmente no retículo endoplasmático, paredes celulares e espaços intercelulares, como sílica amorfa hidratada ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Ele também forma complexos com polifenóis e, assim, serve como alternativa à lignina no reforço das paredes celulares (TAIZ & ZEIGER, 2004), atribuindo maior resistência mecânica à invasão de fungos e bactérias no interior da planta, dificultando também o ataque de insetos sugadores e herbívoros (EPSTEIN, 1999). Goussain et al. (2002) observaram, o efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento da lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda*, que a aplicação de silício pode dificultar a alimentação das lagartas, causando aumento de mortalidade e canibalismo e, portanto, tornando as plantas de milho mais resistentes às mesmas, embora, Prado & Korndörfer (2003), tenham observado que o silício presente na escória de siderurgia aplicada na dose de até 4000 kg ha⁻¹ no plantio de milho, não diminuiu a incidência de *Phaeosphaeria maydis* e *Helminthosporium* SP na cultura.

Gomes et al. (2009), monitorando incidência de insetos-praga por meio da determinação do número pulgões, de lesões foliares provocadas por *Diabrotica speciosa* e de folíolos minados por *Liriomyza* spp. na cultura da batata inglesa sob efeito da adubação com silício, verificaram que as plantas adubadas com silício, independentemente da forma de aplicação e da fonte utilizada, apresentaram menor número de injúrias foliares em relação àquelas da testemunha. Em gramíneas, como milho, arroz e sorgo, a sílica é depositada na forma de corpos silicosos, principalmente nas células epidérmicas, silicosas e buliformes, e nos estômatos e tricomas foliares (CURRIE & PERRY, 2007).

A acumulação de sílica nos órgãos de transpiração provoca a formação de uma camada dupla de sílica cuticular, a qual reduz a perda de água por transpiração, aumentando a eficiência no uso da água pelo vegetal e fazendo com que as plantas sejam mais resistentes a estresse biótico, como insetos mastigadores (NWUGO & HUERTA, 2008). Segundo Faria (2000) & Ma et al. (2001), a eficiência no uso de água pode ser de grande importância para as gramíneas que crescem em regiões onde o período de estiagem é longo e severo mas, segundo Agarie et al. (1998) a contribuição na redução da transpiração, sobretudo nos estômatos e camada cuticular devido à presença de silício, é muito pequena, como um todo. Segundo Silva & Casagrande

(1983) em folhas de cana-de-açúcar, ricas em silício, o elemento preencheria os espaços interfibrilares, reduzindo o movimento de água através da parede celular, causando aumento da economia de água na planta, pela diminuição da taxa de transpiração. Takahashi (1995), observou que a transpiração do arroz nas fases de perfilhamento e alongamento foi 1,3 vez maior na ausência do silício quando comparada com o tratamento que recebeu esse elemento químico. Vander Vorn (1980), também observou que o coeficiente de transpiração do arroz diminuiu significativamente na presença de silício. Diversos autores têm observado ganhos significativos na produtividade de algumas gramíneas, como o arroz, a cana-de-açúcar, o milho, o capim kikuiu, o capim Bermuda e outras não gramíneas, como a alfafa, feijão, tomate, alface e repolho, com aumento do nível de silício solúvel no solo (ELAWAD & GREEN, 1979; KORNDÖRFER & LEPSCH, 2001). Invariavelmente, esses efeitos ocorrem em plantas cuja acumulação de silício em suas estruturas seja grande. No entanto, o efeito da adubação com silício em cana-de-açúcar ainda precisa ser mais estudado, uma vez que são discordantes os resultados encontrados na literatura. Diferentes autores constataram o efeito favorável desta adubação; outros, não encontram efeito algum sobre o desenvolvimento da cultura (MADEIROS et al., 2009). Estudos feitos por Deren et al. (1994), demonstraram haver grandes variabilidades quanto à capacidade genética das cultivares em acumularem silício.

Para Nelson & Moser (1994) a síntese e o acúmulo de vários compostos naturais evoluíram conforme as plantas se foram adaptando à grande diversidade de ambientes. Em geral, os seres vivos estão sob influências dos meios bióticos e abióticos, de forma que a absorção de silício pelas plantas é estimulada pelas condições do meio em que este vegetal esteja inserido. Segundo Soest (1994) o investimento das plantas em um sistema de proteção secundária é energeticamente dispendioso e tais sistemas são ativados frequentemente apenas como resposta à predação ou a outros fatores causadores de estresse, como clima adverso, pragas e doenças.

3.2 CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

3.2.1 Considerações gerais sobre a cultura

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é originária da Ásia, provavelmente na Nova Guiné, concentrando-se a maior parte dos cultivos comerciais (sequeiro e sob irrigação) entre as latitudes 35°N e 35°S do Equador (DOORENBOS & KASSAN,

1994) e, de acordo com Magalhães (1987) em altitudes que variam desde o nível do mar até 1.000 m.

Segundo Maule et al. (2001) & Farias (2006) a crescente preocupação da sociedade global com o ambiente vem gerando pressões quanto ao uso de combustíveis fósseis, haja vista serem os grandes responsáveis pela emissão de gases poluentes na atmosfera. Vários países estão buscando minimizar o uso desses combustíveis e, atualmente, a cana-de-açúcar é uma das melhores opções dentre as fontes renováveis de energia, com grande importância no cenário agrícola brasileiro.

De acordo com os dados da FAO (2009), no período de 2000 a 2007, o Brasil foi o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, seguido da Índia; neste período, ocorreu aumento na produção, passando de 327,70 para 549,70 milhões de toneladas.

A área colhida com cana-de-açúcar na safra 2008/2009, foi de aproximadamente 8,63 milhões de hectares, com aumento de 6% em relação à safra anterior, estimando-se a produção em 691,7 milhões de toneladas superior, portanto, em 6,6% em 2007/2008, com rendimento médio de 80,14 ton ha⁻¹ (IBGE 2009).

De acordo com a CONAB (2009) foram produzidos, na região Centro-Sul, abrangendo os Estados da região Sudeste, Sul e Centro-Oeste, aproximadamente 90% de toda a cana-de-açúcar no território nacional. Na região Centro-Sul o crescimento da produção em relação à safra passada ocorreu praticamente em todos os Estados, com destaque para os Estados de Goiás, com acréscimo de 47,30%, seguido de Mato Grosso do Sul (28,70%), Paraná (20,20%) e Minas Gerais, com 14,90%; este resultado se deve à entrada na safra, 2008/2009, de 25 novas usinas no sistema produtivo.

Para que se tenha uma boa produtividade e maturação deve haver interação entre as condições de clima, solo, manejo da cultura e escolha da variedade mais adaptada ao ambiente de produção (CESAR et al., 1987, citados por MAULE et al., 2001).

Sendo a cana-de-açúcar uma planta C₄, elevadas eficiências fotossintéticas se devem a altas intensidades luminosas. Com elevadas taxas de radiação, os colmos são mais grossos porém mais curtos, as folhas mais longas e mais verdes e o perfilhamento mais intenso. Em condições de baixa irradiância os colmos são mais finos e longos, as folhas mais estreitas e amarelas (RODRIGUES, 1995).

A cultura se desenvolve bem sob estação quente e longa, com incidência de radiação alta e umidade adequada, seguida de um período seco, ensolarado e mediamente frio, porém sem geadas durante a maturação e a colheita (DOORENBOS & KASSAM, 1994). Magalhães (1987) afirma que, comumente, a cana-de-açúcar é

tolerante a altas temperaturas, com capacidade de produção, em regiões com temperatura média de verão, ao redor de 47°C, desde que seja empregada uma irrigação eficiente; temperaturas mais baixas (em torno de 21°C) diminuem a taxa de alongamento dos colmos e promovem o acúmulo de sacarose.

O tipo de solo ideal para a cana-de-açúcar, segundo Sugarcane (2009), é aquele sem limitações de profundidade e drenagem. A faixa de pH ótimo para o bom desenvolvimento da cultura é de 6,5, podendo tolerar um nível considerável de acidez e alcalinidade do solo.

De acordo com Farias (2006), o perfilhamento em cana-de-açúcar pode ser dividido em três fases: fase inicial, em que o perfilhamento é intenso e atinge um número máximo em torno de três a cinco meses após o plantio (20 plantas m⁻¹); fase intermediária, quando há morte acentuada dos perfilhos, principalmente dos menos desenvolvidos (11,41 plantas m⁻¹), e fase final, em que o número de perfilhos permanece estável até a colheita (8,63 plantas m⁻¹). Este perfilhamento máximo foi observado por Silva (2007) aos 60 dias após o plantio nas variedades RB 92 579, RB 86 7515 e SP 79 1011, na região de Coruripe, AL, sob condições de sequeiro, aproximadamente 23 plantas m⁻¹. Para o mesmo autor, o perfilhamento, além de outros fatores, é influenciado pela temperatura, umidade do solo, cultivar e pelo ciclo em que ela se encontra (cana-planta ou cana-soca).

Vegetativamente, a cana-de-açúcar é propagada, por meio de colmos seccionados em pedaços de 3 a 4 gemas, denominados tolete ou rebolo; devem ser dispostos nos sulcos “pé” (base do colmo) com “ponta” (ápice do colmo) e plantados de forma cruzada para se prevenir alguma falha na brotação, já que a parte inferior é uma porção fisiologicamente mais madura. A quantidade de gemas a serem colocadas por metro de sulco, por ocasião do plantio, está muito ligada à variedade utilizada e à qualidade do rebolo. Levando-se em conta que a muda está sujeita a danos mecânicos, desde o corte no viveiro até sua cobertura no sulco, devem ser utilizadas em torno de 12 a 16 gemas/metro linear (PROCÓPIO et al., 2003).

Uma das características de maior importância para se ter boa produtividade final ou bom “stand” de mudas está relacionada com as práticas de plantio, levando-se em consideração fatores indispensáveis à otimização da cultura, como escolha da área, da variedade, sanidade da muda, época de plantio, preparo adequado do solo, profundidade de plantio, cobertura dos toletes e distribuição de gemas no sulco (SILVA et al, 2004).

3.2.2 Necessidades Hídricas

Segundo Doorembos & Kassan (1979), a necessidade hídrica da cana-de-açúcar é de 1500 a 2500 mm por ciclo vegetativo e o manejo da irrigação deve ser feito de acordo com as tensões de água no solo, recomendadas para cada período do ciclo fenológico.

Scárdua & Rosenfeld (1987), cita que os níveis de água ou potenciais totais mínimos no solo, ou ainda as quantidades de água máximas que podem ser extraídas do solo pela cultura, sem danos para a produção de cana-de-açúcar, foram estudados por diversos autores (Tabela 1).

Tabela 1. Potenciais mínimos de água no solo e água disponível consumida segundo vários autores, citados por Scárdua e Rosenfeld (1987).

Autor	Local	Potencial mínimo da água no solo	Porcentagem da água disponível consumida
		<i>atm</i>	%
Shaw & Innes	Jamaica	-2,5	-
Sousa & Scardua	Brasil	-1,2	60
Singh & Singh	Índia	-	75
Mongelard	Maurcius ¹	0,5	-
Fogliata	Argentina	1 a 2,5	40
Robinson	Havai	2,0	-
Scardua et al	Brasil	1,0	55
Leme et al	Brasil	2	75

¹ Ensaio conduzido em vasos.

Um dos procedimentos, muito utilizado, para a estimativa do consumo de água pelas culturas, é a determinação da evapotranspiração potencial de referência (E_{to}), que de acordo com a FAO (1975), citado por Scardua e Rosenfeld (1987), para obtê-la é necessário introduzir o Coeficiente de Tanque (K_p), que multiplicado à evaporação do Classe A (ECA) fornece aquele valor, Equação 1.

$$E_{to} = K_p \times ECA \quad \text{Eq.5}$$

Onde: K_p é função dos ventos totais diários, da umidade relativa e do tamanho da área gramada que circunda o tanque.

A ETo também pode ser determinada por outros métodos como: de Penman, da Radiação e de Blaney-Criddle.

O interesse para irrigação é determinar a evapotranspiração real ou atual (ETa), que pode ser obtida pelo produto do Coeficiente da Cultura (Kc) e a ETo (FAO, 1975, citada por Scardua & Rosenfeld, 1987), Equação 6 e 7.

$$ETa = Kc \times ETo \quad \text{Eq.6}$$

ou

$$ETa = Kc \times Kp \times ECA \quad \text{Eq.7}$$

O valor do Kc é obtido experimentalmente. Nas Tabelas 2, 3 e 4, encontram-se valores de coeficiente de cultivo (Kc), variando de 0,10 a 1,50.

Tabela 2. Coeficiente de cultivo (Kc) para cana-planta com diferentes métodos de estimativa de Eto, segundo Barbieri(1981).

Idade da cultura(mês)	Penman	Radiação	Tanque Classe "A"
0 – 2	0,10 – 0,20	0,10 – 0,20	0,12 – 0,25
2 – 3	0,20 – 0,40	0,20 – 0,40	0,25 – 0,53
3 – 4	0,40 – 0,60	0,40 – 0,55	0,53 – 0,75
4 – 7	0,60 – 1,50	0,55 – 0,96	0,75 – 1,47
7 – 17	1,50 – 0,96	0,96 – 0,77	1,47 – 0,87

Tabela 3. Coeficiente de cultivo(Kc) para cana-soca, segundo Doorenbos & Pruitt (1975)

Período(mês)	Estágio de Desenvolvimento	Kc
0 – 1	Do plantio até 25% de cobertura do solo	0,55
1 – 2	De 25 a 50% de cobertura do solo	0,80
2 – 2,5	De 50 a 75% de cobertura do solo	0,90
2,5 – 4	De 75 a 100% de cobertura do solo	1,00
4 – 10	Cobertura total do solo	1,05
10 – 11	Início da maturação	0,80
11 – 12	Maturação	0,60

Tabela 4. Coeficiente de cultivo(Kc) para cana-de-açúcar segundo o PLANALSUCAR, citado por Scardua & Rosenfeld (1987).

Período(mês)		Estágio de Desenvolvimento	Kc
CANA-PLANTA CANA-SOCA			
0 – 2	0 – 1	Do plantio até 0,25 do fechamento	0,50
2 – 3	1 – 2	De 0,25 a 0,50 do fechamento	0,65
3 – 4	2 – 3	De 0,50 a 0,75 do fechamento	0,75
4 – 7	3 – 4	De 0,75 até o fechamento	0,90
7 – 14	4 – 9	Máximo desenvolvimento	1,10
14 – 16	9 – 10	Início da maturação	0,70
16 – 18	10 – 12	Maturação	0,60

Wiedenfeld (2000), observou que a cana-de-açúcar submetida a stresse hídrico no terceiro e no quarto períodos do seu ciclo, 257 a 272, e 302 a 347 dias após o plantio, respectivamente, teve redução de 8,3 a 15% no rendimento.

O déficit hídrico não é limitado apenas às regiões árida e semi-áridas do mundo pois, mesmo em regiões consideradas climaticamente úmidas, a distribuição irregular das chuvas, em alguns períodos, pode limitar o crescimento (TAIZ & ZEIGER, 1991).

Souza et al (1999), utilizando uma Fonte Pontual de aplicação de água (“Point Source”), a qual era composta de um aspersor tipo canhão, encontrou para as variedades RB72454, RB76418 e SP701011, máximas produtividades em colmos de 155,8; 126,9 e 141,9 t ha⁻¹, com lâminas totais de água 1568; 1424 e 1589 mm, respectivamente, em 13 meses de cultivo. As máximas produtividades em açúcar estimadas para as mesmas variedades foram, 20,7; 17,1 e 19,3 t ha⁻¹, para as lâminas de 1678; 1874 e 1602 mm, respectivamente, nos mesmos 13 meses de cultivo.

Gomes (1999), obteve com cana-panta, variedade RB72-454, e uma lâmina média de 1195 mm, uma produtividade média de colmos e em açúcar, de 130 e 17 t ha⁻¹, respectivamente.

Maule et al (2001), encontraram para a variedade SP79-1011, produtividades médias de 149, 154 e 170 t ha⁻¹ para precipitações totais de 1.478 mm com 14 meses de cultivo, 1.695 mm com 17 meses de cultivo e 1.829 mm com 19 meses de cultivo, respectivamente.

Qureshi et al (2002) utilizando uma combinação de quatro lâminas de irrigação (900, 1200, 1500 e 1800 mm) com três turnos de irrigação (7, 10 e 15 dias), desenvolveram uma função de resposta da água para estimar a produtividade da cana-de-açúcar irrigada e determinar o uso eficiente da água. A função obtida mostrou que com a lâmina de 1600 mm e o turno de irrigação de 15 dias, ocorreu a otimização da produtividade e da eficiência do uso da água.

3.3 IRRIGAÇÃO NA CANA-DE-AÇÚCAR

3.3.1 Evapotranspiração

A evapotranspiração é definida como a perda de água de uma cultura, por evaporação do solo e transpiração das plantas. É um processo biofísico que envolve o conteúdo de água do solo, a passagem da água através das plantas, a perda de água por transpiração através dos estômatos das folhas e o transporte de água para a atmosfera, por meio dos processos difusivos e turbulentos (RANA & KATERJI, 2000).

As determinações da água necessária para as culturas resultam em dados básicos para planejar e manejar adequadamente qualquer projeto de irrigação (Soares et al, 2001). A aplicação de água nas culturas deve ser manejada de forma racional, considerando-se os aspectos sociais e ecológicos da região, procurando-se maximizar a produtividade e a eficiência de uso de água e minimizar os custos, quer sejam de mão-de-obra ou de capital, de forma a tornar lucrativa a atividade. Deve-se fazer irrigação com o objetivo de aumentar o lucro e a produtividade, em quantidade e em qualidade (BERNARDO, 2007).

Com o objetivo de aumentar a eficiência da irrigação no cultivo de cana-de-açúcar, Bernardo (2007) afirma ser de extrema importância considerar, na fenologia, os estádios de desenvolvimento da cultura, assim divididos: a germinação e a emergência compreendem o 1º mês; o perfilhamento e o estabelecimento da cultura têm duração de 2 a 3 meses; o crescimento em biomassa (formação da produção) se estende por 6 a 7 meses, enquanto a maturação abrange apenas 2 meses. Os dois primeiros estádios são os mais críticos ao déficit hídrico; no terceiro estágio (aumento de biomassa), as plantas respondem à lâmina aplicada mas o déficit hídrico não causa tantos prejuízos à produtividade quanto nos dois primeiros; já no quarto estágio (maturação), é desejável ocorrer déficit hídrico, com reflexos positivos sobre o rendimento de açúcar.

Um suprimento adequado de água é essencial para o crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar, com uma demanda em torno de 1.200 mm/ano (Farias, 2006).

Farias et al. (2007), estudando o Índice de Área Foliar (IAF) da cana-de-açúcar, variedade SP 79 1011, em tabuleiro costeiro paraibano sob diferentes lâminas de irrigação e doses de zinco, constataram que aos 150 dias após a brotação (DAB) o maior índice de área foliar ($5,11 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-2}$) foi obtido quando a cultura foi irrigada com 100% da ETc. A partir deste ponto ocorre diminuição do IAF devido ao decréscimo do número de perfilhos por metro linear e da área foliar; aos 360 DAB o maior índice de área foliar ocorreu quando a cultura foi irrigada com 100% da ETc ($2,31 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-2}$) e os valores de IAF quando a cultura foi irrigada com 75, 50 e 25%, não foram estatisticamente diferentes (sendo em média $1,77 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-2}$), registrando-se o menor índice quando a cultura foi submetida ao regime de sequeiro ($1,36 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-2}$).

Estudando os índices de crescimento da cana-de-açúcar variedade SP 791011, sob regime de irrigação e sequeiro, Farias et al. (2008) obtiveram, com irrigação, uma altura máxima de 152,80 cm aos 193,85 dias, e uma taxa de crescimento em altura, aos 280 dias após o plantio (DAP), de $0,5457 \text{ cm dia}^{-1}$; já para a cultura submetida ao regime de sequeiro, a altura máxima foi de 148,19 cm aos 236,20 dias, a taxa de crescimento em altura das plantas submetidas a esse manejo, até os 280 DAP, foi de $0,5292 \text{ cm dia}^{-1}$. Em relação ao acúmulo de fitomassa seca da parte aérea para a cana irrigada, o ponto de máxima foi obtido aos 220,77 dias, acumulando a planta 158,31 g nessa data, com taxa de acúmulo de fitomassa de $0,7169 \text{ g dia}^{-1}$; na cana sob regime de sequeiro, o máximo acúmulo de fitomassa ocorreu aos 217,45 dias (151,10 g), com taxa de acúmulo de $0,6974 \text{ g dia}^{-1}$.

Gonçalves (2006), trabalhando com a variedade SP 791011, quinta folha, sob diferentes lâminas de irrigação e dois níveis de adubação, obteve um número maior de colmos ($78.583 \text{ colmos ha}^{-1}$) e maior comprimento do colmo (1,83 m) com uma lâmina mais precipitação efetiva de 1.249 mm e adubação de 180 kg ha^{-1} (70 kg de nitrogênio e 110 kg de potássio); menor número de colmos ($52.229 \text{ colmos ha}^{-1}$) e o menor comprimento do colmo (1,27 m) foram obtidos com o regime de sequeiro e sem adubação mineral; o maior diâmetro do colmo (22,85 mm) foi registrado com a cultura em regime de sequeiro e com adubação de 180 kg ha^{-1} , e o menor diâmetro (19,45 mm) com a lâmina mais a precipitação efetiva de 864 mm e na ausência da adubação mineral. Em relação ao peso médio do colmo na lâmina mais precipitação efetiva de 1.249 mm e

180 kg ha⁻¹ de adubo, obteve-se o maior valor (0,76 kg) e nas plantas que receberam o total de água de 864 mm e na adubação de 180 Kg ha⁻¹ foi obtido o menor peso dos colmos (0,54 kg).

Na região de Botucatu, SP, utilizando-se da variedade RB 72 454, Dalri et al. (2008) estudaram diferentes frequências de irrigação por gotejamento subsuperficial, sem observar diferenças significativas em produtividade, perfilhamento e produção de matéria seca da parte aérea em relação às diferentes frequências de irrigação; a produtividade aumentou 47,33%, 58,53% e 39,86%, em relação ao tratamento não irrigado nos tratamentos com alta, média e baixa frequência de irrigação, respectivamente.

Farias (2006) estudou os efeitos das lâminas de água de irrigação com a variedade SP 791011, na Destilaria Miriri em Santa Rita, PB, em termos de fração da ETc (sequeiro, 25% da ETc, 50% da ETc, 75% da ETc e 100% da ETc) e cinco níveis de adubação com zinco: 0, 1, 2, 3 e 4 kg ha⁻¹ e obteve produtividades de 31,33, 52,54, 72,29, 72,37 e 88,10 ton ha⁻¹, correspondendo aos tratamentos de sequeiro, 25%, 50%, 75% e 100% da ETc, respectivamente. Na avaliação da análise econômica desse mesmo experimento, o autor verificou prejuízo de R\$ 1,43 ton⁻¹ sob regime de sequeiro; para 25% da ETc, o prejuízo foi de R\$ 9,64 ton⁻¹, enquanto para 50 e 75% da ETc foi obtido um lucro bruto de R\$ 4,92 ton⁻¹ e, para 100% da ETc, combinada com a aplicação de 2,39 kg ha⁻¹ de zinco, o lucro foi de R\$ 19,60 ton⁻¹.

Frizzone et al. (2001) avaliaram a viabilidade econômica da irrigação suplementar da cana-de-açúcar na Região Norte do Estado de São Paulo e verificaram ser tal prática inviável na cana-soca, de meados até o final da safra (setembro a novembro); no período do início até meados da safra (maio a julho), os autores constataram viabilidade técnica e econômica da irrigação, considerando os benefícios diretos e indiretos, como aumento da produtividade agrícola e maior longevidades das soqueiras (redução de custos com arrendamento, preparo de solo e plantio, tratos culturais e transporte). Em experimento realizado na Usina Coruripe, no Litoral Sul do Estado de Alagoas, em cana colhida no mês de janeiro, Santos & Frizzone (2006) verificaram existir um grande potencial técnico e econômico para a irrigação, no início do ano (janeiro), considerando-se os mesmo benefícios diretos e indiretos citados por Frizzone et al. (2001); no experimento em Alagoas, os autores obtiveram uma produtividade da cana-soca de 62,67 e 81,92 t ha⁻¹ e evapotranspiração real 1.125,78 e 1.296,50 mm (janeiro a dezembro), sem e com irrigação, respectivamente.

A melhoria da qualidade da cana-de-açúcar pode ser obtida com o uso da irrigação. Com o objetivo de avaliar diferentes doses de N e K₂O em cobertura, com e sem irrigação, na Destilaria Miriri em Santa Rita, PB, Moura et al. (2005) testaram uma lâmina de 27,5 mm, no intervalo de 12 dias, calculada com base na evaporação diária do tanque Classe A; os autores se utilizaram dos coeficientes de tanque (Kp) (DOORENBOS & PRUITT, 1997) e da cultura (Kc) (DOORENBOS & KASSAN, 1994), obtendo produtividades de 92,48 e 77,05 ton ha⁻¹ e rendimento bruto de açúcar de 13,18 e 10,17 ton ha⁻¹, com e sem irrigação, respectivamente. Em outro experimento realizado na mesma Destilaria, conduzido por Carvalho et al. (2009), com a variedade SP 791011, a maior produtividade (103,08 ton ha⁻¹) foi obtida com uma lâmina total de 1.168 mm e com adubação de 216 kg ha⁻¹ (112 kg de N e 164 kg de K₂O), enquanto a menor (68,44 ton ha⁻¹) foi registrada no tratamento de sequeiro (775 mm) e a mesma adubação de 216 Kg ha⁻¹; maior quantidade de açúcar (15,29 ton ha⁻¹) foi encontrada com a mesma lâmina e adubação da maior produtividade (1.168 mm e 216 kg ha⁻¹), enquanto a menor quantidade (9,68 ton ha⁻¹) foi observada com o regime de sequeiro e uma adubação de 72 kg ha⁻¹ (28 kg de N e 44 kg de K₂O).

Farias (2006) trabalhou com diferentes lâminas de irrigação obtendo um acréscimo em açúcar totais recuperáveis (ATR); com o uso desta prática a diferença em ATR da cana-de-açúcar irrigada com 100% da ETc (147,47 kg de ATR ton⁻¹ de cana) em relação à cana de sequeiro (112,27 kg de ATR ton⁻¹ de cana) foi de 35,20 kg de ATR ton⁻¹ de cana.

Rehman (1995), estudando a qualidade industrial da cana-de-açúcar na Índia, submetida a diferentes frações de esgotamento da água do solo (40%, 60% e 80%) e diferentes níveis de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg de N ha⁻¹), observou que os índices tecnológicos da cana-de-açúcar decresceram com a quantidade de 200 kg de N ha⁻¹ e com a mais baixa fração de esgotamento do solo; já no Estado do Texas, Wiedenfeld (2008) concluiu não haver influência na qualidade da cana-de-açúcar, variedade CP 72-1210, quando foi irrigada com água salina de 1,3 e 3,7 dS m⁻¹; o autor reporta que o resultado da pesquisa foi menor que o esperado e as precipitações de verão podem ter lixiviado os sais acumulados na zona radicular. Ocorreu redução de aproximadamente 17% na produtividade da cana-de-açúcar, quando irrigada com a água de 3,7 dS m⁻¹ (68,89 ton ha⁻¹), em relação à produtividade obtida com uso de água menos salina (82,9 ton ha⁻¹ com água de 1,3 dS m⁻¹).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO, CLIMA E SOLO

O experimento foi conduzido em condições de campo, em área pertencente à fazenda Ponta da Serra situada na cidade de Queimadas, PB, localizada pelas coordenadas geográficas: 7° 22' 00" de latitude sul, 36° 00' 06" de longitude oeste (Figura 1).

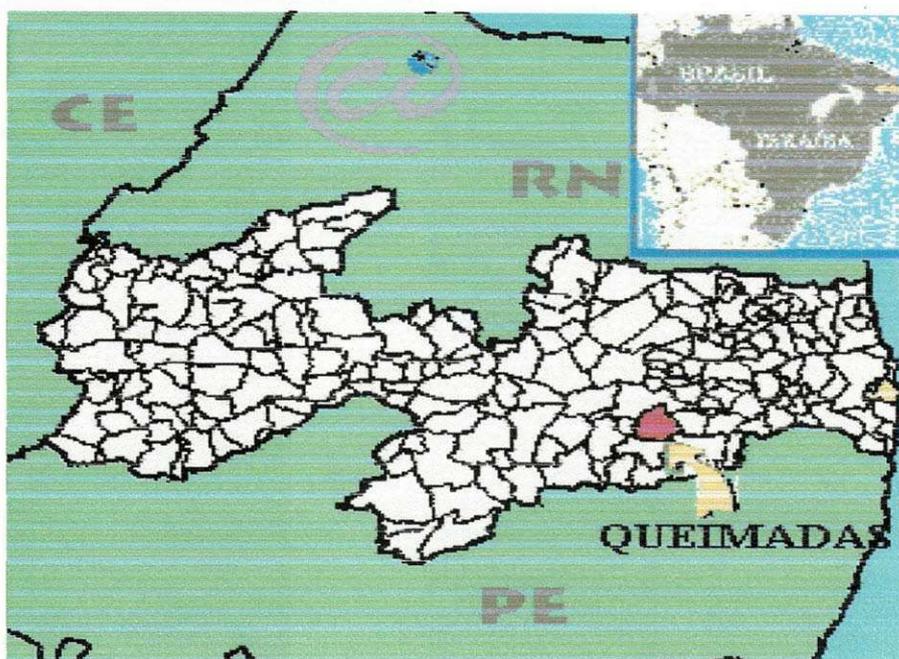


FIGURA 1: Localização da área experimental, Queimadas, PB

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo As', quente e úmido, altitude média de 482 m, com precipitação média anual de 600 mm, temperatura máxima de 32 °C, mínima de 22 °C e umidade relativa do ar de 65 %. Na Figura 2 encontram-se a precipitação ao longo do tempo de realização do experimento.

O solo da área experimental foi classificado como um Neossolo Regolítico eutrófico segundo a nova classificação proposta pela EMBRAPA (2006), possui textura média, franco-argilo-arenosa (Tabela 5). A análise química do solo é apresentada na Tabela 6. As amostras foram analisadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) pertencente à Universidade

Federal de Campina Grande (UFCG), seguindo-se a metodologia proposta pela EMBRAPA (1997).

Tabela 5. Análise físico-hídrica do solo da área experimental. Fazenda Ponta da Serra Queimadas, PB, 2010

Características físicas do solo	Valor
Granulometria (g.kg ⁻¹)	
Areia	64,24
Silte	30,67
Argila	5,09
Classificação textural	Franco Arenoso
Densidade (g/cm ³)	
Aparente	2,83
Real	1,52
Porosidade total (%)	46,29
Capacidade de campo(%) (-0,33 atm)	4,37
Ponto de murcha permanente (%) (-15 atm)	2,92
Água disponível (%)	1,45

*FAA – franco-argilo-arenosa

Tabela 6. Análise química do solo da área experimental. Fazenda Ponta da Serra, Queimadas, PB, 2010

Características químicas do solo	Valor
Cálcio (meq/100g de solo)	3,22
Magnésio (meq/100g de solo)	3,39
Sódio (meq/100g de solo)	0,15
Potássio (meq/100g de solo)	0,60
Soma de bases (meq/100g de solo)	7,36
Hidrogênio (meq/100g de solo)	0,66
Alumínio (meq/100g de solo)	0,00
CTC (meq/100g de solo)	8,02
Carbonato de Cálcio Qualitativo	Ausência
Carbono Orgânico (g.kg ⁻¹)	0,86
Matéria Orgânica (g.kg ⁻¹)	1,48
Nitrogênio (%)	0,08
Fósforo Assimilável (mg/100g)	2,10
pH H ₂ O (1:2,5)	5,65
CE (mmhos/cm)	0,21

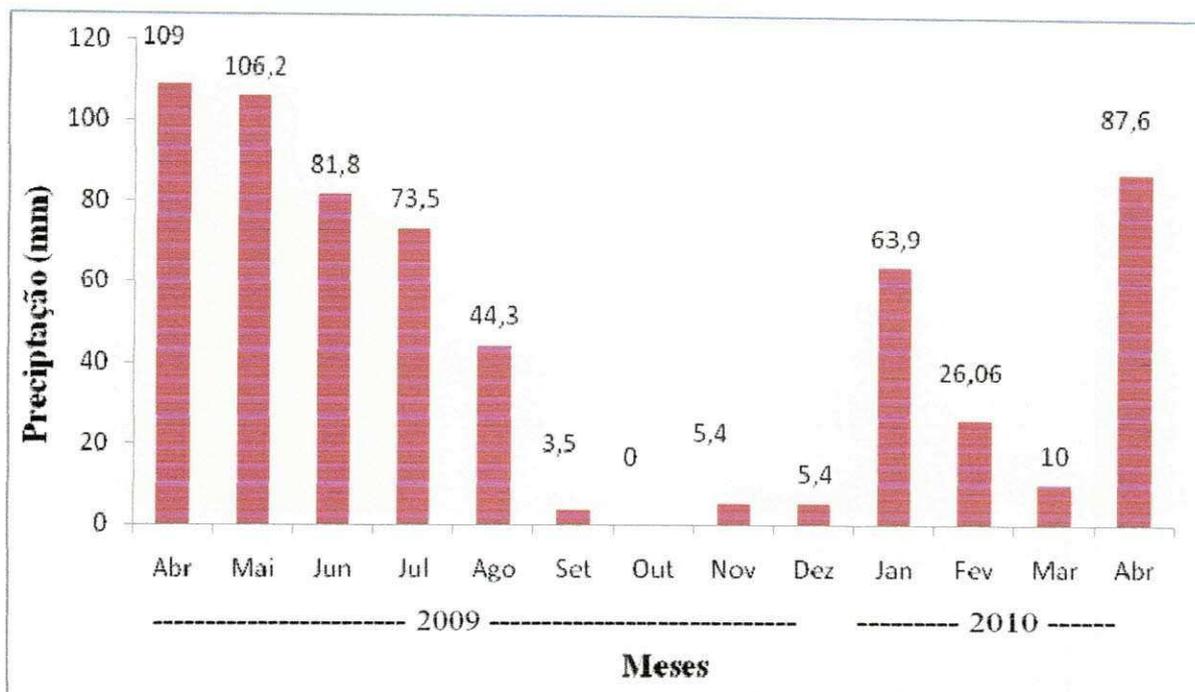


Figura 2: Precipitação pluviométrica na área experimental.

4.2 VARIEDADE E PLANTIO

A pesquisa foi desenvolvida com a variedade SP 791011, no primeiro ciclo de produção (cana-planta), o plantio foi realizado em Abril de 2009 e a última amostragem em Março de 2010, 330 dias após plantio, um mês antes da colheita. O espaçamento utilizado foi 1,00 m entre as fileiras, prevendo-se trabalhar com uma densidade de 16 gemas por metro linear. No preparo da área foram utilizadas, apenas, uma subsolagem e uma gradagem.

O produto utilizado como fonte de silício foi o AGROSSILICIO PLUS, que é um Fertilizante Mineral Simples, proveniente de escória de siderurgia silicatada contendo: 25,0 % de Cálcio; 6,0 % de Magnésio e 10,5 % de Silício.

4.3 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os tratamentos resultaram da combinação de cinco lâminas de irrigação referentes à reposição de água de 50, 75, 100, 125 e 150 % da evapotranspiração da cultura, com quatro doses de silicato de cálcio e magnésio correspondentes a 0, 300, 600 e 900 kg ha⁻¹ de SiO₂, o que refletia em 0; 31,5; 63 e 94,5 kg há⁻¹ de SiO₂ por parcela experimental.

A área total do experimento foi de 3600 m², subdividida em cinco setores de irrigação, cada um com doze parcelas de doses de silício, (Figura 3). O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, sendo as lâminas de irrigação distribuídas em faixas e as doses de silício compondo as subparcelas. A parcela experimental consistiu de 6 fileiras de cana-de-açúcar com 10 m de comprimento, espaçadas 1 m, sendo a área útil da parcela considerada para coleta dos dados, foi composta de 4 fileiras centrais com 8 m lineares (deixando-se 1 m em cada extremidade da fileira, como bordadura), totalizando 32 m².

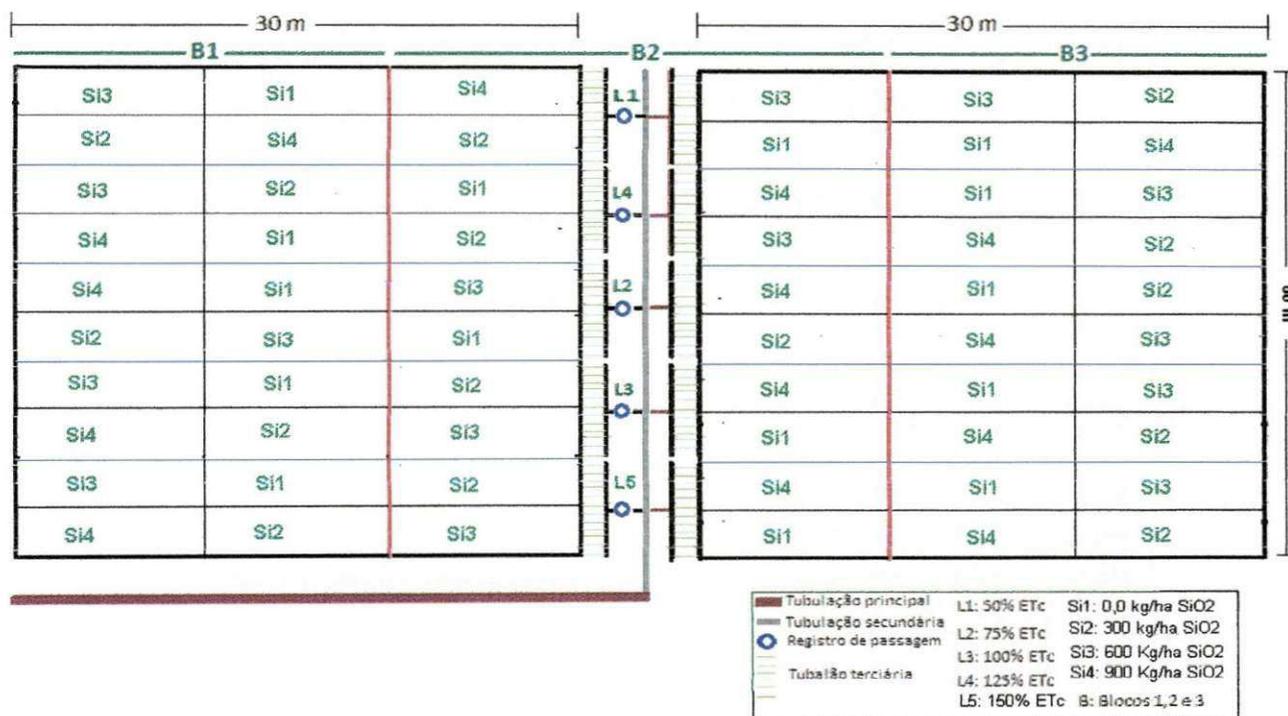


Figura 3: Croqui da área experimental com as lâminas de irrigação distribuídas em faixas e as dose de silício compondo as subparcelas. Fazenda Ponta da Serra, Queimadas-PB, 2010.

4.4 IRRIGAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR

4.4.1 Fonte e qualidade da água de irrigação

A água utilizada na irrigação foi procedente do riacho de Bodocongó, pertencente à bacia hidrográfica do rio Paraíba. Realizou-se a caracterização química da água de irrigação no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) do Centro de

Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) pertencente à Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Na Tabela 7 estão expressos os resultados da análise da qualidade de água, de acordo com Richards (1954); numa avaliação qualitativa a água foi classificada como C₄, de altíssimo risco de salinização, não podendo ser usada para irrigação sob condições normais, porém pode ser usada ocasionalmente em circunstâncias muito especiais. Os solos devem ser permeáveis, a drenagem adequada, devendo ser aplicado água em excesso para se obter uma boa lixiviação de sais e, mesmo assim devem ser explorados com culturas altamente tolerantes ao sais.

Tabela 7. Análise química da água de irrigação utilizada na área experimental, Fazenda Ponta da Serra, Queimadas, PB, 2010

Determinações	Características químicas da água	Valor
pH		6,75
Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)		2,26
Cálcio (meq L^{-1})		3,27
Magnésio (meq L^{-1})		5,29
Sódio (meq L^{-1})		11,94
Potássio (meq L^{-1})		0,51
Cloretos (meq L^{-1})		0,00
Sulfatos (meq L^{-1})		5,38
Bicarbonatos (meq L^{-1})		14,47
Carbonatos (meq L^{-1})		Ausência
Relação de adsorção de sódio – RAS (mmol L^{-1}) ^{1/2}		5,77
Classe da água		C4

O sistema de irrigação adotado foi localizado do tipo “xique-xique”, cuja vazão média de cada furo foi de 8 L.h⁻¹. As linhas laterais foram de polietileno com diâmetro nominal de 16 mm, dispostas em cada fileira de planta, ou seja, adotou-se a distância de 1,0 m entre linhas laterais.

4.4.2 Equipamentos de irrigação

A pressão de saída na bomba era mantida em 54 mca e aduzido por um conjunto motobomba de 7 cv, passando por uma linha adutora de 600m de PVC de 75 mm, até chegar ao cabeçal de controle onde foi filtrada por um filtro de disco 130 micron ambos com uma vazão de 10 m³ h-1. Após cada filtro de tela existia um manômetro analógico para controle da pressão.

A tubulação secundária, com diâmetro nominal de 50 mm e 60 m de comprimento com saídas para cada lâmina, totalizando cinco unidades conectadas à tubulação principal de adução de água por registros de globo de acionamento rápido, o

qual regulava a entrada de água para o abastecimento das linhas laterais de irrigação, em cada faixa de irrigação.

Nas linhas laterais de polietileno com diâmetro nominal de 16 mm e 60 m de comprimento, foram perfurados 60 furos espaçados a uma distância de um metro.

4.4.3 Manejo de irrigação

As lâminas de irrigação foram determinadas a partir da evapotranspiração (ET_o), para a estimativa da ET_c . A determinação da evapotranspiração de referência (ET_o) foi feita diariamente, utilizando-se do modelo de Penmann & Monteith (Allen et al., 1998), expresso na equação 5, sendo esta a mais apropriada para a região (Mendonça, 2008):

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{med} + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad \text{(Equação 5)}$$

em que: R_n o saldo de radiação total diário ($MJ m^{-2} d^{-1}$); G a densidade de fluxo de calor no solo ($MJ m^{-2} d^{-1}$); T_{med} a temperatura média diária do ar a 2m de altura ($^{\circ}C$); U_2 a velocidade do vento média diária a 2 m de altura ($m s^{-1}$); e_s a pressão de saturação do vapor média diária (kPa); e_a a pressão parcial de vapor média diária (kPa); Δ a declividade da curva de pressão de saturação de vapor e γ a constante psicrométrica igual a $0,0633 kPa ^{\circ}C^{-1}$.

A primeira irrigação foi feita com um único nível em todos os setores, de modo que se tivessem todos os tratamentos na capacidade de campo no início da pesquisa. Somente a partir daí se iniciou a aplicação dos tratamentos de lâmina de água, com um turno de irrigação a cada sete dias; Para a evapotranspiração da cultura foi calculada da seguinte maneira: $ET_c = ET_o \cdot Kc$. Foram utilizados valores de coeficiente de cultura (Kc), recomendados por Doorenbos & Kassam (1994), para os diferentes estádios de desenvolvimento, visando-se determinar a evapotranspiração da cultura em cada um deles (Tabela 8).

Tabela 8: Níveis de crescimento da cana-de-açúcar.

Fc (%)	Período após o plantio (dias)	Kc
0 a 25	0 a 30	0,4
	30 a 45	0,5
	45 a 60	0,6
25 a 50	60 a 80	0,75
	80 a 100	0,85
50 a 75	100 a 125	0,95
75 a 100	125 a 180	1,1
Máxima demanda	180 a 270	1,2
	270 a 300	1,3
Início da senescência	300 a 330	1
Maturação	330 a 360	0,6

Adaptado de Dorembos & Kassam (1994)

Os níveis de água em forma de volume (mensurada em litros), foram calculados multiplicando-se a ETc referente a cada estágio de desenvolvimento da cana-de-açúcar, por 0,5; 0,75; 1,0; 1,25 e 1,5, obtendo-se as lâminas L1, L2, L3, L4 e L5 (mm dia-1 ou 1,0 Lm-2 dia-1) referentes à reposição de 50, 75, 100, 125 e 150 %, da evapotranspiração da cultura; em seguida, os valores das lâminas L1, L2, L3, L4 e L5 foram multiplicados pela área de 12 parcelas (Sparcela = 60 m2) o que corresponde a cada lâmina, obtendo-se o volume requerido para suprimento dos níveis de reposição diária de água, anteriormente apresentados. Sabendo que a vazão dos gotejadores utilizados era de 8 L h⁻¹ e tendo o volume, em litros necessário para o suprimento das lâminas de irrigação em estudo, dividiu-se o volume requerido pela vazão do gotejador obtendo-se, então, o tempo de funcionamento do sistema.

Na Tabela 9 estão expostas as lâminas de irrigação aplicadas ao longo do ano de cultivo e as respectivas precipitações efetivas.

Tabela 9. Lâmina de água de irrigação, precipitação, precipitação efetiva e lâmina total aplicada à cultura. Fazenda Ponta da Serra, Queimadas, PB, 2010

Tratamento	Precipitação	Lâmina de irrigação	Água total
50% da ETc		360,00	730,00
75% da ETc		540,00	823,66
100% da ETc	616,66	720,00	948,16
125% da ETc		900,00	1060,33
150% da ETc		1080,00	1191,00

4.5 VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO ANALISADAS

4.5.1 Altura da planta

A altura da planta foi mensurado da superfície do solo ao “colar” (linha de união lâmina-bainha facilmente visível) de última folha totalmente expandida, com o auxílio de régua graduada, conforme Benincasa (2003).

4.5.2 Diâmetro do caule

A medição do diâmetro do caule (DC) foi realizada com um paquímetro analógico, cujas leituras foram efetuadas na região do colo de cada planta, próximo ao nível do solo, segundo Skora Neto (2003).

4.5.3 Área foliar

Após determinação das dimensões lineares (comprimento e largura) de cada lâmina foliar totalmente expandida, a Área Foliar (AF) foi calculada através da expressão: $AF = C \times L \times 0,75$, descrita e utilizada por Tollenaar (1992). A Área Foliar por planta foi calculada somando-se as áreas de todas as folhas da planta.

4.5.4 Massa seca da parte aérea

Após coleta as plantas foram levadas ao laboratório, onde foram, condicionados os colmos e as folhas em sacos de papel para secagem em estufa de circulação de ar forçado a 65°C, visando-se à determinação da matéria seca de cada amostra.

4.5.5 Massa seca da raiz

Após coleta as plantas foram levadas ao laboratório, onde foram, condicionados as raízes em sacos de papel para secagem em estufa circulação de ar forçado a 65°C, visando-se à determinação da matéria seca de cada amostra.

4.6 PRODUTIVIDADE

A produtividade da cana-de-açúcar foi obtida pesando-se os colmos da área útil de cada parcela e posteriormente convertendo-se para tonelada por hectare.

4.7 ANÁLISE DOS DADOS

Para os fatores lâminas de irrigação e doses de silício, realizaram-se a análise de regressão polinomial e utilizando-se o programa computacional ASSISTAT versão 7.6 beta.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observando a Tabela 10, verifica-se-se que ocorreram efeitos significativos em virtude da aplicação das lâminas de água e doses de silício sobre as plantas de cana-de-açúcar. Constatou-se para o fator doses de silício efeito linear para a variável altura da planta e para produtividade; entretanto ocorreu efeito quadrático apenas para a variável massa seca da raiz.

De forma diferente ao que ocorreu no primeiro fator (doses de silício), observou-se que em relação as lâminas de irrigação não ocorreu efeito significativo para a variável altura da planta, havendo efeito significativo para o diâmetro caulinar e a área foliar a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.. Para a variável massa seca da parte aérea observou-se que não houve efeito significativo em função das doses de silício, no entanto, a massa seca da parte aérea respondeu de forma quadrática a aplicação das lâminas de irrigação. Com relação a massa seca da raiz pode-se observar que as doses de silício e as lâminas de irrigação influenciaram significativamente de forma quadrática a de 5% e 1% de probabilidade respectivamente. Para a produtividade as doses de silício e as lâminas de irrigação interferiram significativamente de forma linear e quadrática ao nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

Observa-se que não ocorreu efeito significativo para interação entre as doses de silício e as lâminas de irrigação para as variáveis de crescimento estudadas, tais como altura da planta, diâmetro do caule e massa seca da parte aérea e da raiz ao nível de 1% e 5% de probabilidade; assim como também não ocorreu efeito significativo para interação com relação a produtividade.

Tabela 10. Resumos das análises de variâncias da altura da planta (AP), área foliar (AF), diâmetro do caule (DC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e da produtividade da cana-de-açúcar SP 791011, submetida em diferentes lâminas de água e doses de silício. Fazenda Ponta da Serra, Queimadas. PB. 2010

FONTES DE VARIAÇÃO	GL	AP (cm)	DC (mm)	AF (cm ²)	MSPA (g)	MSR (g)	Prod. (ton ha ⁻¹).
Doses de Silício (S)							
Ef. Linear	(1)	935.52*	1.45 ^{ns}	1673126.23 ^{ns}	11037,08 ^{ns}	66,86 ^{ns}	8900.18**
Ef. Quadrático	(1)	39.41 ^{ns}	8.15 ^{ns}	610217.12 ^{ns}	17710,86 ^{ns}	2348,6*	1746.03 ^{ns}
Ef. Cúbico	(1)	139.79 ^{ns}	4.82 ^{ns}	1424715.63 ^{ns}	3591,82 ^{ns}	264,62 ^{ns}	709.35 ^{ns}
Lâminas de irrigação (I)							
Ef. Linear	(1)	31.94 ^{ns}	3.46 ^{ns}	44605.43 ^{ns}	10037,55 ^{ns}	25,76 ^{ns}	2200.00 ^{ns}
Ef. Quadrático	(1)	403.77 ^{ns}	0.055**	1379609.75*	57181,85*	1227,7**	304.91*
Ef. Cúbico	(1)	1.99 ^{ns}	8.53 ^{ns}	*	5594,45 ^{ns}	1,23 ^{ns}	618.03 ^{ns}
Ef. 4 grau	(1)	3.58 ^{ns}	19.79*	5481644.44 ^{ns}	28153,87 ^{ns}	6,54 ^{ns}	1344.92 ^{ns}
Interação (S x I)		165,27 ^{ns}	8,40 ^{ns}	533022,05 ^{ns}	24698,48 ^{ns}	306,53 ^{ns}	675,64 ^{ns}
Média Geral		126.68	28.22	2754.78	561,97	53,72	96.56
CV (%)		9.47	6.08	24.43	16,76	17,82	21.77

-, **, significativo a 5% e 1% de probabilidade; ^{ns} não significativo

Tabela 11: Valores médios das variáveis altura da planta (AP), área foliar (AF), diâmetro do caule (DC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e da produtividade da cana-de-açúcar SP 791011, submetida em diferentes lâminas de água e doses de silício. Fazenda Ponta da Serra, Queimadas. PB. 2010

Fatores	AP (cm)	DC (mm)	AF (cm ²)	MSPA (g)	MSR (g)	Prod (ton ha ⁻¹)
Doses de silício (Kg ha⁻¹)						
0	121,51	28,18	2809,06	564,42	59,5	54,07
300	126,15	28,28	3137,05	528,35	44,18	60,33
600	125,58	28,90	2574,21	561,24	50,76	67,80
900	133,47	27,51	2498,80	593,89	60,46	71,8
Média Geral	126,67	28,61	2574,78	561,97	53,72	63,5
Lâminas de irrigação (% ETC)						
50	128,81	26	2439,19	567,96	58,39	48,60
75	124,61	27,96	3128,86	551,19	50	56,76
100	123,18	27,8	3180,93	510,34	48,85	62,34
125	126,16	26,4	2235,38	562,17	51,35	61,72
150	130,62	25	2789,53	618,2	60,04	56,74
Média Geral	126,67	26,81	2754,77	561,97	53,72	57,23

5.1 VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO ANALISADAS

5.1.1 Altura da planta

O comportamento das médias da altura da planta dentro de cada dose de silício pode ser observado na Figura 4. A equação de regressão que melhor descreveu tal comportamento foi a linear. A regressão polinomial para altura da planta em função doses de silício que melhor se ajustou aos dados, foi a equação linear descrita pela equação $Y = 0,0118x + 121,38$ com coeficiente de correlação (R^2) de 0,83.

As lâminas de irrigação não refletiram em efeitos significativos nas médias da altura da planta, assim como a interação das lâminas de irrigação com as dosagens de adubação silicatada (Tabela 10). O maior valor médio obtido foi de 133,47 (Tabela 11) cm utilizando-se a dose de 900 Kg há⁻¹ de silício, o que representa um aumento de 10,54 % em relação à ausência de silício, onde registrou-se uma altura média de 121,51 cm (tabela 11), apresentando tendência linear em aumento na altura da planta da cana-de-açúcar (Figura 4). Resultados contraditórios foram encontrados por Medeiros et al (2009), onde a aplicação de escória de siderurgia, rica em silicato de cálcio e magnésio, na cultura da cana-de-açúcar, não teve influência significativa no crescimento das plantas.

Mali & Aery (2009) estudando o efeito do silício na cultura de feijão macassar (*Vigna unguiculata* L.) observaram um aumento de 18,9% no comprimento dos caules das plantas cultivadas com a dose 100 mg Si kg⁻¹ de solo em relação ao controle sem silício tendo, a partir desta dose até 800 mg Si kg⁻¹ de solo, ocorrido decréscimo gradual no mesmo. Em duas cultivares de trigo submetidas a doses crescentes de silício, Orioli Júnior et al. (2008), notaram que o silício não interferiu na altura das plantas, contrariando o que havia sido observado por Gong et al. (2003). De acordo com esses autores, em boas condições de umidade do solo a aplicação de silício aumentou a altura de plantas de trigo; no entanto, quando submeteram as plantas conjuntamente à aplicação de silício e estresse hídrico, a altura de plantas se manteve constante.

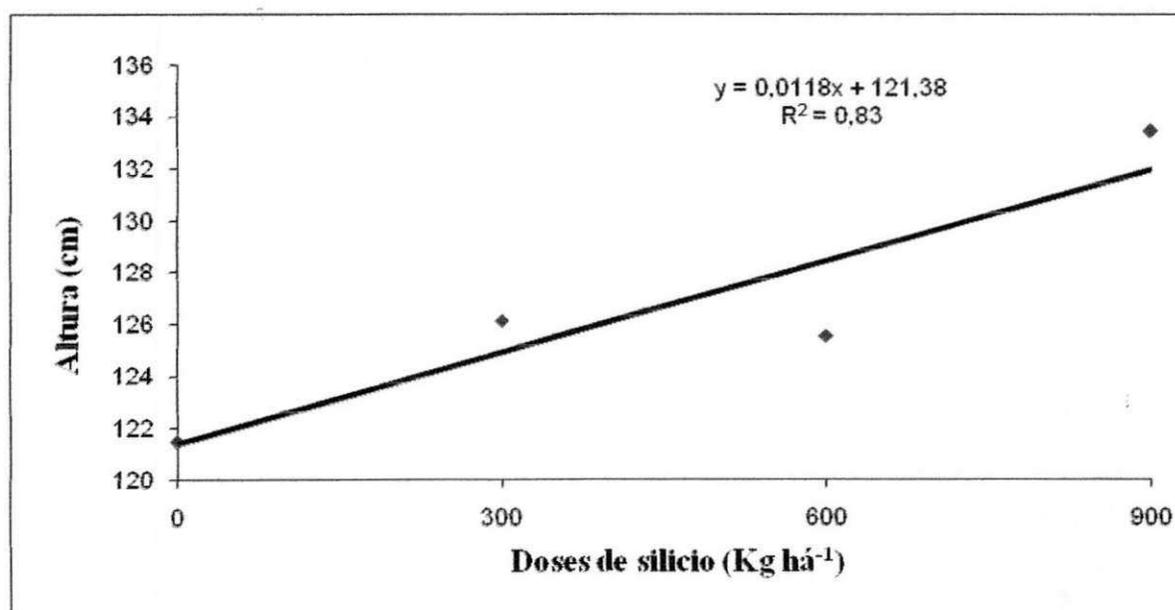


Figura 4: Modelo de regressão para altura da planta da cana-de-açúcar aos 330 dias após o plantio, em função das doses de silício. Fazenda Ponta da Serra, Queimadas, PB. 2010.

5.1.2 Diâmetro caulinar

Na Figura 5 observa-se o modelo de regressão com probabilidade de 5%, que melhor descreve o comportamento do diâmetro caulinar, em função da quantidade total de água aplicada. A regressão polinomial para diâmetro caulinar em função das lâminas de irrigação aplicada que melhor se ajustou aos dados, foi a equação quadrática descrita pela equação $Y=0,0009x^2 + 0,1677x + 20,096$, com $R^2 = 0,92$, em que Y representa o diâmetro caulinar e X representa as lâminas de irrigação.

Com o aumento da lâmina de irrigação ocorreu um incremento no diâmetro caulinar das lâminas correspondentes a 50%, 75% e 100% da ETc em torno de 2,7 mm, atingindo o seu máximo em 28,7 mm (100 % ETc). A partir da lâmina de irrigação que corresponde a 100% ETc pode-se observar uma redução no diâmetro caulinar nas lâminas que correspondem a 125 e 150% da Etc atingindo sua máxima redução em 25 mm (150% Etc), como pode ser observado na Figura 5.

As doses de silício não refletiram em efeitos significativos nas médias do diâmetro caulinar, assim como a interação das lâminas de irrigação com as dosagens de adubação silicatada corroborando com Chaves & Vasconcelos (2006) que, avaliando o efeito do xisto retornado (57% em peso de SiO₂) na cultura do milho, não observaram efeitos significativos sobre o diâmetro do caule. Entretanto, Prado & Natale (2004) e Neri et al. (2009), constataram aumento do diâmetro do caule das plantas de maracujá e de milho, respectivamente, quando adubadas com silício. De acordo com Plucknett (1971), entre outros benefícios o silício pode aumentar o tamanho e o diâmetro dos colmos da cana-de-açúcar; no entanto, Madeiros et al. (2008), mostraram decréscimo no diâmetro caulinar de cana-de-açúcar quando adubada com doses crescentes de silício.

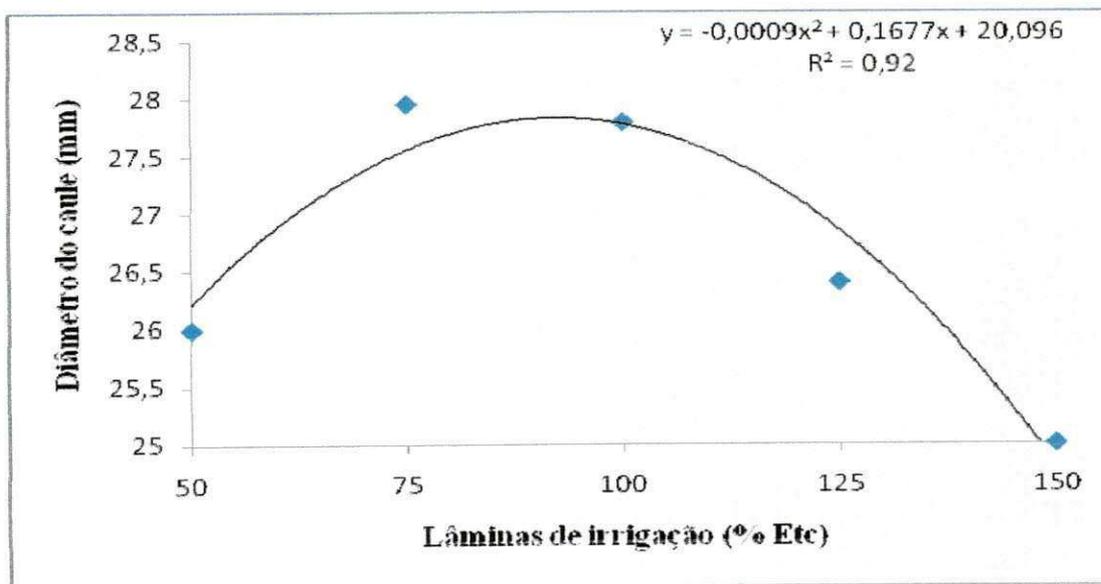


Figura 5: Modelo de regressão para diâmetro caulinar da cana-de-açúcar aos 330 dias após o plantio, em função das lâminas de irrigação. Fazenda Ponta da Serra, Queimadas, PB. 2010.

5.1.3 Área foliar

Verificou-se o modelo de regressão com probabilidade de 1%, que melhor descreve o comportamento da área foliar, em função da quantidade total de água aplicada. A regressão polinomial para área em função das lâminas de irrigação aplicada que melhor se ajustou aos dados, foi a equação quadrática descrita pela equação $Y = -0,1892x^2 + 40,438x + 916,67$, com $R^2 = 0,84$, em que Y representa a área foliar e X representa as lâminas de irrigação. (Figura 6)

O maior valor médio de área foliar obtido foi de 3180,93 cm², utilizando-se a lâmina de 100% ETc, o que representa um aumento de 30,02% em relação à menor média encontrada na lâmina de 125% ETc (2235,38cm²). Após o ponto máximo as lâminas não conseguiram incrementar a área foliar da planta (Figura 6).

Taiz & Zieger (2004) afirmam que o estresse hídrico exerce vários efeitos sobre o crescimento das plantas, em um deles é a limitação da expansão foliar; a área foliar é importante porque, em geral, a fotossíntese é proporcional a ela, observando que quando a cultura foi irrigada com 125% da ETc produziu uma área foliar menor que a cultura irrigada com 100% e conseqüentemente, se obteve fitomassa maior das folhas e índice de área foliar, mas a fitomassa do colmo e total, como a altura das plantas, neste tratamento foi inferior à da cana irrigada com 100% da ETc; indicando que, provavelmente, a maior área foliar proporcionou maiores perdas por evapotranspiração. Varela (2002) estudando a área foliar da cana-de-açúcar na região dos tabuleiros costeiros paraibanos obteve uma área foliar máxima de 35,00 dm², aos 246 dias, em um cultivo irrigado com intervalo de irrigação a cada 12 dias, com lâmina de água de irrigação de 13,8 mm.

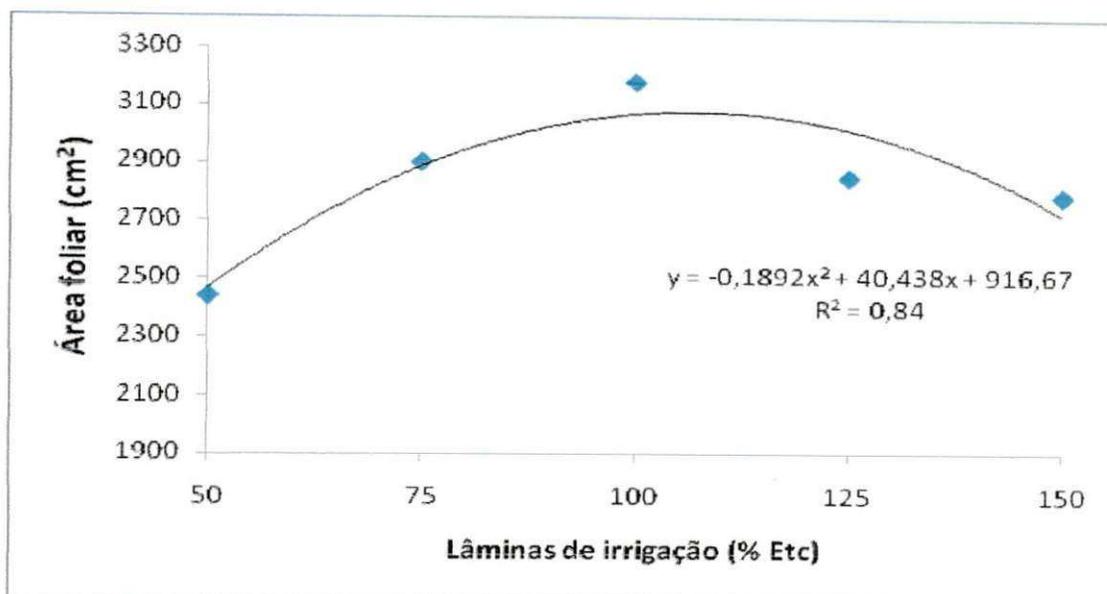


Figura 6: Modelo de regressão para área foliar da cana-de-açúcar aos 330 dias após o plantio, em função das lâminas de irrigação. Fazenda Ponta da Serra, Queimadas, PB. 2010.

5.1.4 Massa seca da parte aérea

As doses de silício não refletiram em efeitos significativos nas médias do conteúdo da massa seca da parte aérea, assim como a interação das lâminas de irrigação com as dosagens de adubação silicatada (Tabela 10). Pode-se observar na Figura 7 o conteúdo da massa seca da parte aérea em função das lâminas de irrigação aplicadas, apresentando o efeito quadrático, sendo o melhor modelo de regressão que se ajustou aos dados. A regressão polinomial em função das lâminas de irrigação que melhor se ajustou aos dados, foi a equação de 2º grau descrita pela equação $Y = 0,0272x^2 - 5,0006x + 755,67$, com $R^2 = 0,88$, em que Y representa a massa seca da parte aérea e X representa as lâminas de irrigação.

Com o aumento da lâmina de irrigação ocorreu uma redução significativa no conteúdo da massa seca da parte aérea, atingindo sua máxima redução correspondendo a 540 g (tabela 11) na lâmina de 100% ETc, chegando a uma redução de 17,43% quando se compara com o valor de 620 g (tabela 11) alcançado na maior lâmina aplicada (150 % ETc). A partir da lâmina de 100% ETc verificou-se um incremento na massa seca da parte aérea atingindo o máximo em 618,2 g. Pode-se verificar ainda a matéria secada parte aérea foi significativamente reduzida pelo estresse hídrico (lâmina de 50 % da ETc), corroborando com Kaya et al. (2006).

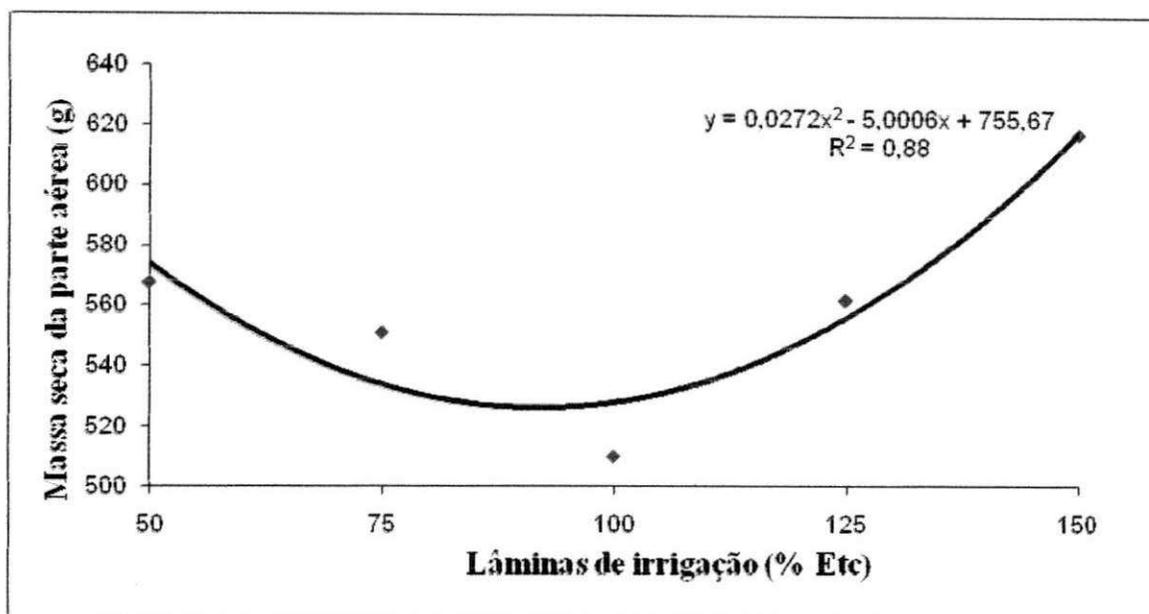


Figura 7: Modelo de regressão para matéria seca da parte aérea da cana-de-açúcar aos 330 dias após o plantio, em função lâminas de irrigação . Fazenda Ponta da Serra, Queimadas, PB. 2010.

5.1.5 Massa seca da raiz

As lâminas de irrigação ocasionaram efeito significativo, a nível de 1 % de probabilidade, sobre o acúmulo de massa seca da raiz da cana-de-açúcar, enquanto para as doses de silício foi observado efeito significativo a 5 % de probabilidade. Pode-se observar na Figura 8 que o conteúdo da massa seca da raiz em função das doses de silício, apresentou efeito quadrático, sendo o melhor modelo de regressão que se ajustou aos dados. A regressão polinomial devido à doses de silício que melhor se ajustou aos dados, foi a equação de 2º grau descrita pela equação $Y = 7E-0,5x^2 - 0,059 + 58,56$, com $R^2 = 0,90$, em que Y representa a massa seca da raiz e X representa as doses de silício.

Pode-se observar na figura 8 que a máxima redução da massa seca da raiz ocorreu com a aplicação de 300 Kg há⁻¹ de silício atingindo o valor de 44,18 g (Tabela 11). A partir do incremento dessa dose de silício ocorreu um aumento significativo da massa seca da raiz, atingindo o máximo incremento na dose de 900 Kg há⁻¹ de silício com 60,46g de massa seca da raiz, sendo superior em 26,92 % em relação ao menor valor encontrado.

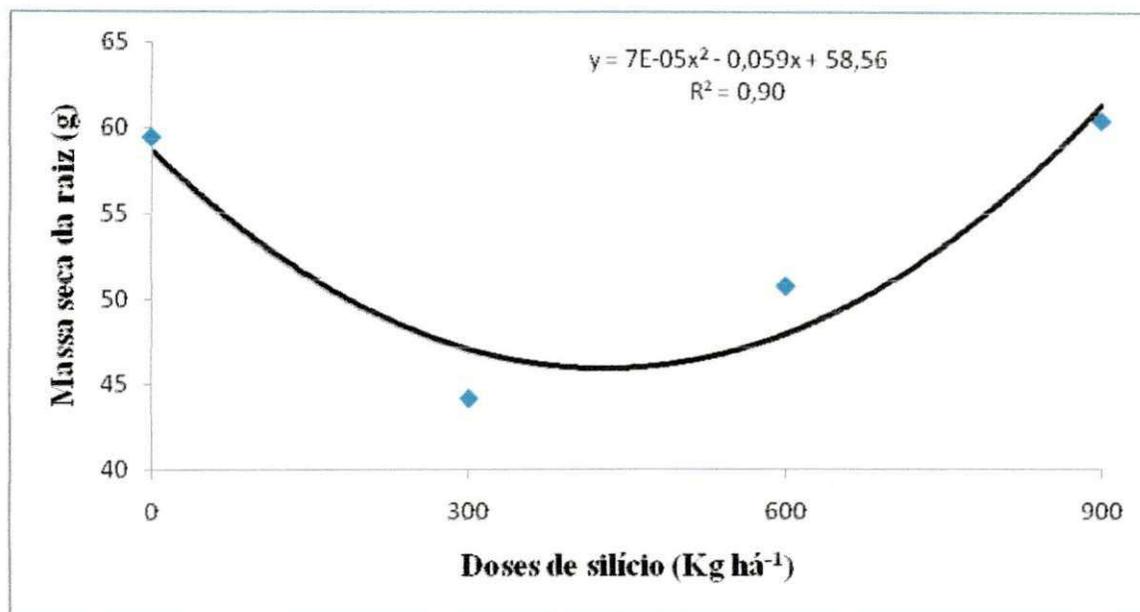


Figura 8: Modelo de regressão para massa seca da raiz da cana-de-açúcar aos 330 dias após o plantio, em função das doses de silício ($p < 0,05$). Fazenda Ponta da Serra, Queimadas, PB. 2010.

De modo semelhante ao que ocorreu com o acúmulo da massa seca da raiz em função das doses de silício, a massa seca da raiz em função das lâminas de irrigação obteve efeito significativo ao nível de 1 % (Tabela 10), apresentando efeito quadrático como o melhor modelo de regressão que se ajustou aos dados com a equação $Y = 0,004x^2 - 0,846x + 89,7$ e $R^2 = 0,99$ (Figura 9).

Com a aplicação da Lâmina de 50% ETc pode-se observar que o acúmulo de matéria seca da raiz alcançou valor semelhante ao da maior lâmina aplicada (60,4g) (Tabela 11). A partir da aplicação da lâmina de 75% ETc ocorreu redução na matéria seca da raiz da cana-de-açúcar atingindo o máximo da redução na lâmina de 100% (48,85g) passando a ter um acréscimo ao se aplicar a lâmina de 125% ETc e chegando ao máximo do acúmulo de matéria seca com a aplicação de 150 % ETc (Figura 9).

Estudando o acúmulo de matéria seca nas raízes em duas variedades de cana -de-açúcar, submetidas a três lâminas de água de irrigação, nos tabuleiros costeiros

paraibanos, Varela (2002) constatou maior acúmulo de matéria seca das raízes quando a cultura foi submetida a uma lâmina de água de irrigação de 100% ETC, a cada 12 dias, valor este de 68,47 g. Silva (2003), Farias (2006) e Silva et al. (2008) verificaram aumento da matéria seca da raízes com a prática da irrigação.

Robertson et al. (1999), trabalhando na Austrália também verificaram efeito do déficit hídrico no peso da matéria seca das raízes, da variedade Q117; nas plantas irrigadas o peso seco das raízes foi de 74,51 e, quando foi realizado um déficit hídrico no início do cultivo o peso do colmo foi reduzido para 43,25; esta redução no peso foi ainda mais acentuada quando o déficit se prolongou até meados do período de cultivo, com valor de 36,21 g.

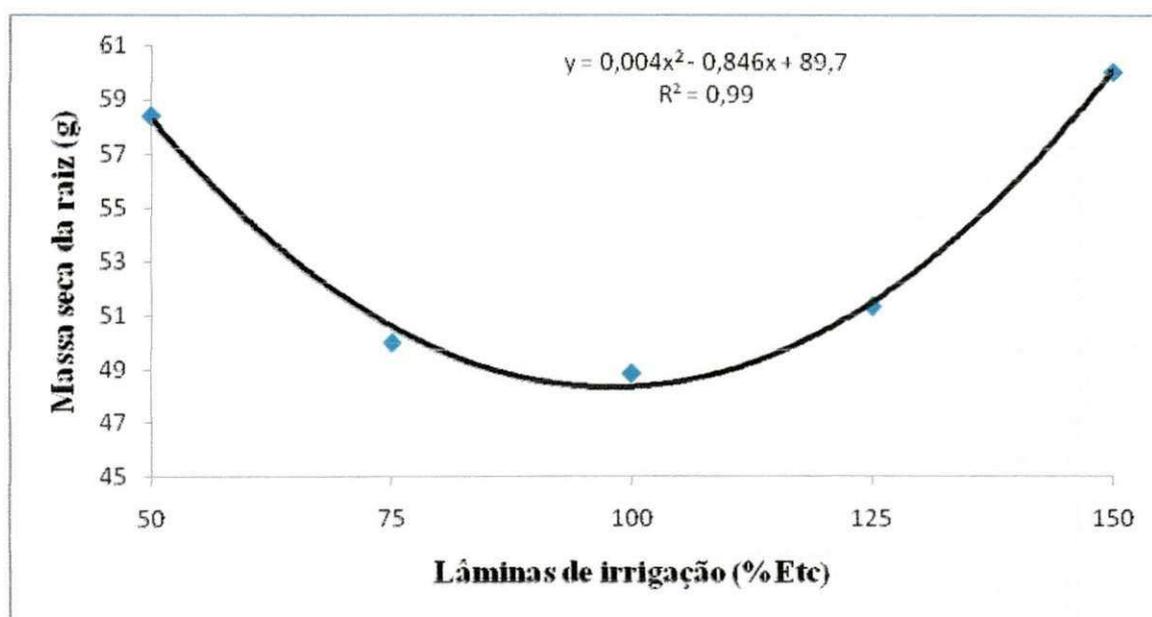


Figura 9: Modelo de regressão para massa seca da raiz aos 330 dias após o plantio, em função das lâminas de irrigação ($p < 0,01$). Fazenda Ponta da Serra, Queimadas, PB. 2010.

5.2 Produtividade

As lâminas de irrigação tiveram efeito significativo, a nível de 5 % de probabilidade, sobre a produtividade da cana-de-açúcar, enquanto as doses de silício apresentaram efeito significativo a 1 % de probabilidade. Pode-se observar na Figura 10 a produtividade em função das lâminas de irrigação, apresentando o efeito quadrático como o melhor modelo de regressão que se ajustou aos dados. A regressão polinomial para devido as lâminas de irrigação que melhor se ajustou aos dados, foi a equação de 2º grau descrita pela equação $Y = -0,0037x^2 + 0,8247x + 16,256$ com $R^2 = 0,99$; em que Y representa produtividade e X representa lâminas de irrigação. Com relação às doses

de silício o efeito linear foi o melhor modelo de regressão que se ajustou aos dados, apresentando a equação $Y = 0,0202x + 54,401$ com $R^2 = 0,98$; em que Y representa produtividade e X representa as doses de silício (Figura 11).

Analisando-se a Figura 10 Observa-se, pelos resultados obtidos, que o rendimento da cana-de-açúcar foi afetado pelas diferentes lâminas de irrigação, sendo que a lâmina que proporcionou maior produtividade foi aquela correspondente a 100% ETc. A produtividade máxima foi obtida para a lâmina de 100% ETc foi de 62,34 ton há⁻¹ (Tabela 11), com rendimento superior em 22,04% (48,60 ton há⁻¹), 8,95% (56,76 ton há⁻¹), 0,99% (61,72 ton há⁻¹) e 8,98% (56,74 ton há⁻¹), com relação as lâminas de 50% ETc, 75% ETc, 125% ETc e 150 ETc ,respectivamente.

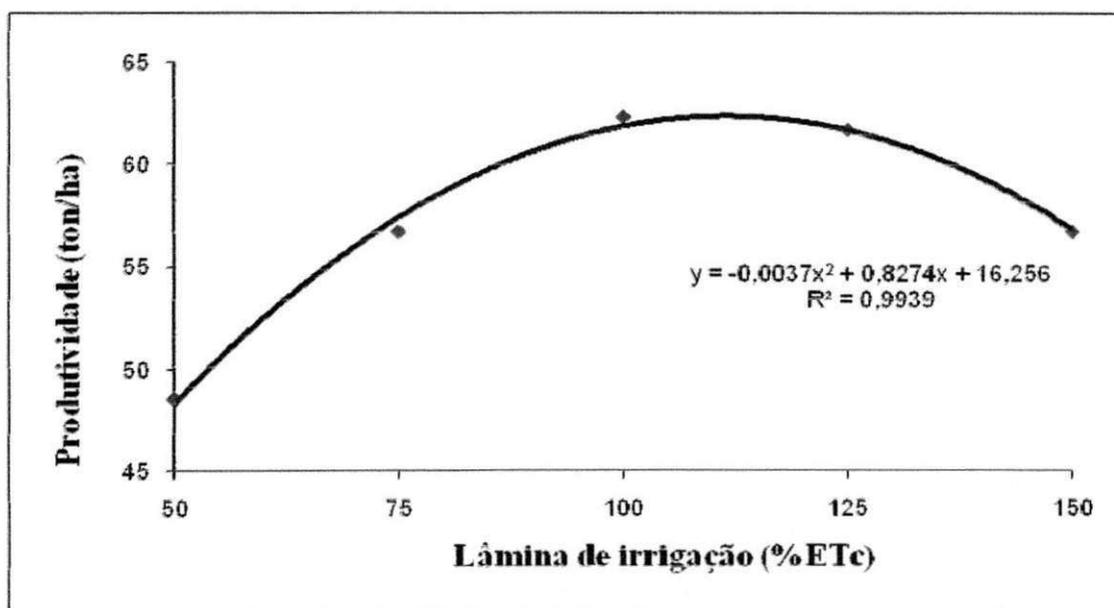


Figura 10: Modelo de regressão para a produtividade, em função das lâminas de irrigação ($p < 0,05$). Fazenda Ponta da Serra, Queimadas, PB. 2010.

Estudando o acúmulo de matéria seca nos colmos em duas variedades de cana-de-açúcar, submetidas a três lâminas de água de irrigação, nos tabuleiros costeiros paraibanos, Varela (2002) constatou maior acúmulo de matéria seca nos colmos quando a cultura foi submetida a uma lâmina de água de irrigação de 41,30 mm, a cada 12 dias, valor este de 307,98 g; para as canas irrigadas com 13,80 e 27,50 mm os referido valores foram, respectivamente, 226,75 g e 237,23 g. Silva (2003), Farias (2006) e Silva et al. (2008) verificaram aumento da fitomassa no colmo com a prática da irrigação. Robertson et al. (1999), trabalhando na Austrália também verificaram efeito do déficit

hídrico no peso da matéria verde nos colmos, da variedade Q117; nas plantas irrigadas o peso do colmo foi de 1033 g e, quando foi realizado um déficit hídrico no início do cultivo o peso do colmo foi reduzido para 887 g; esta redução no peso foi ainda mais acentuada quando o déficit se prolongou até meados do período de cultivo, com valor de 735 g.

Os valores médios de produção da cana-de-açúcar dentro de cada dose de silício, tenderam a crescer à medida em que o nível de silício aumentou. Verifica-se que de uma lâmina para outra o valor médio de produção diferiu estatisticamente a nível de 1 % de probabilidade pelo teste de Tukey (Tabela 10), tendo aumentado em torno de 28,44; 18,39₂ e 6,41% de uma dose de silício para outra para outra, ou seja, o maior aumento de produção se deu quando a dose de silício aumentou de 0 para 900 Kg há⁻¹.

Pereira et al. (2003) avaliando o efeito de diferentes fontes de silício (xisto, escória da Mannesman, escória da Dedini e termofosfatos) na cultura do tomateiro, não observaram efeito significativo das mesmas sobre a produtividade da cultura, apesar de ter ocorrido ligeira superioridade dos tratamentos em comparação com a testemunha. Segundo os autores, esses resultados contrariam outros em que são demonstrados os efeitos das escórias sobre a produção agrícola. Fiori (2006), por exemplo, utilizando escória agrícola rica em silicato de cálcio, obteve aumento da produtividade de frutos de tomate, cultivares Carmen e Colibri.

Segundo Savant et al. (1999), a maior produtividade proporcionada pelo Si de diversas culturas, como foi observado em arroz, é que seu suprimento torna as folhas mais eretas, favorecendo a incidência de luz, maior absorção de CO₂ e redução da transpiração excessiva, permitindo incremento da taxa fotossintética. Barbosa Filho et al. (2001), constataram um aumento de rendimento de grãos de arroz de acordo com a fertilização silicatada o que, segundo esses autores se pode relacionar ao aumento na disponibilidade de silício e cálcio derivados da aplicação do silicato de cálcio; já, Orioli Júnior et al. (2008), relatam que a produtividade de grãos de trigo não foi influenciada pela aplicação de doses de silício (0, 50, 100, 150, 200 e 250 kg há⁻¹ de Si).

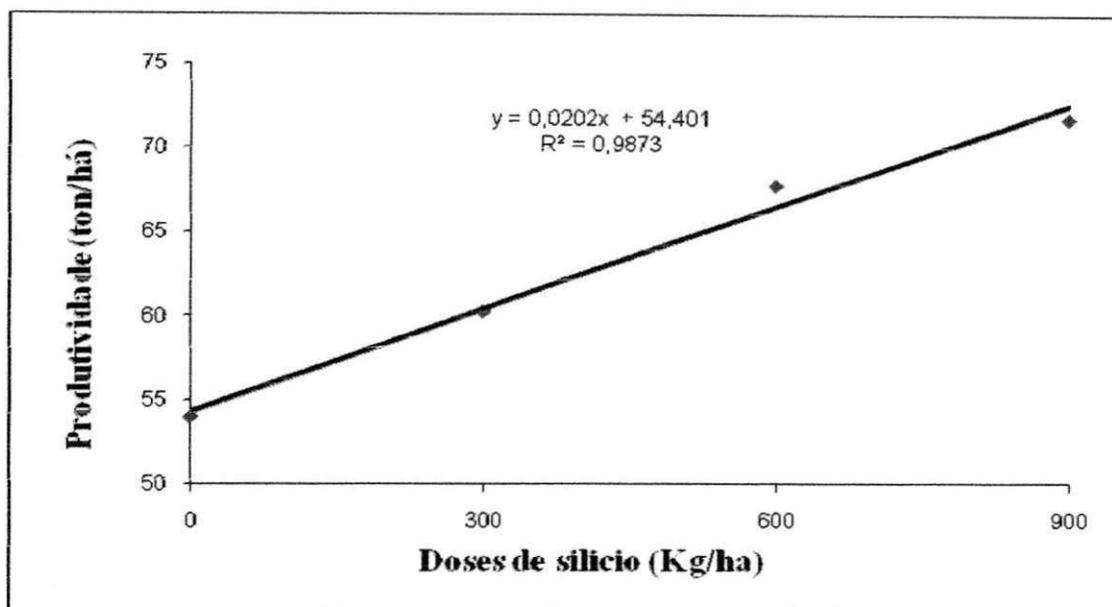


Figura 11: Modelo de regressão para a produtividade, em função das doses de silício ($p < 0,01$). Fazenda Ponta da Serra, Queimadas, PB. 2010.

6. CONCLUSÕES

As variáveis de crescimento, como diâmetro do caule e a área foliar e a matéria seca da parte aérea e da raiz, foram influenciados pelas lâminas de irrigação utilizadas.

As doses de silício utilizadas isoladamente interferiram nas variáveis altura da planta e na massa seca da raiz.

A produtividade da cana-de-açúcar foi influenciada significativamente pelas lâminas de irrigação e doses de silício, tendo a lâmina de irrigação correspondente a 100% ETC e a maior dose de silício, correspondente a 900 kg há⁻¹, proporcionado a maior produção.

Em geral, pode-se dizer que a lâmina de irrigação e as doses de silício correspondente a 100% ETC, e 900 kg há⁻¹, respectivamente, foram as que contribuíram para o melhor desenvolvimento e produção das plantas de cana-de-açúcar.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGARIE, S.; UCHIDA, H.; AGATA, W.; KUBOTA, F. & KAUFMAN, P. B. Effects of silicon on transpiration and leaf conductance in rice plants (*Oryza sativa* L.). **Plant Production Science**, v. 1, n. 2, p. 89-95, 1998.

ALCARDE, J. C. **Corretivo de acidez do solo: características e interpretações**. São Paulo: ANDA, 1992. 26 p. (Boletim Técnico, 6).

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration - Guidelines for predicting crop water requirements**, Rome: FAO, 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56), 1998.

ASSIS, M. H. S.; PEREIRA, H. S.; BARBOSA, N. C.; CARNEIRO, M. A. C. & PAIVA, J. B. Formas de aplicação de fertilizante silicatado e seus efeitos no solo e na produção de sorgo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31, 2007, Gramado. **Anais...** Gramado: SBCS, 2007, CD Rom.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas)**. 2.ed Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41p.

BARBIERI, V. Espaçamento em cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 2., Rio de Janeiro, 1981. **Anais**. Rio de Janeiro: STAB, 1981. v.3, p.512-522.

BARBOSA FILHO, M. P.; SNYDER, G. H.; FAGERIA, N. K.; DATNOFF, L. E. & SILVA, O. F. Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Piracicaba, v. 25, n.2, p. 325-330, 2001.

BERNARDO, S. Manejo da irrigação na Cana-de-açúcar. Disponível em: <http://www.agronegocio.goias.gov.br/docs/portal/seminarioIII.pdf>. Acesso em: 03/11/2007

CARVALHO, C.M.; AZEVEDO, H.M.; DANTAS NETO, J.; FARIAS, C.H.A.; SILVA, C.T.S.; GOMES FILHO, R.R. Rendimento de açúcar e álcool sumetida a

diferentes níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.4, n.1, p.72-77, 2009.

CHAVES, L. H. G. & FARIAS, C. H. A. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo e na disponibilidade de cálcio, magnésio e fósforo. **Caatinga**, Mossoró, v.21, n.5 (número especial), p.75-82, 2008.

CHAVES, L. H. G. & VASCONCELOS, A. C. F. Alterações de atributos químicos do solo e do crescimento de plantas de milho pela aplicação de xisto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande v.10, n.1, p.84-88, 2006.

CURRIE, H. A. & PERRY, C. C. Silica in plants: Biological, Biochemical and chemical studies. **Annals of Botany**, Nottingham, v.100, p. 1383–1389, 2007.

CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO) **Acompanhamento da safra brasileira – Cana-de-açúcar**. Brasília, 13p., Abril, 2009.

DALRI, A.B.; CRUZ, R.L.; GARCIA, C.J.B. Irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade da cana-de-açúcar. **Irriga**, Botucatu, v.13, n.1, p.1-11, 2008.

DEREN, C. W.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. & MARTIN, F. G. Silicon Concentration, Disease Response, and Yield Components of Rice Genotypes Grown on Flooded Organic Histosols. **Crop Science**. v. 34, p. 733-37,1994.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. **Yield response to water**. FAO – Rome. (Copyright ©) 1979b, 306p.

DOORENBOS, J. & PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome. FAO, 1975. 144p. (Irrigation and Drainage, Paper 24).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 306 p. (FAO. Estudos de Irrigação e Drenagem, 33), 1994.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 306 p. (FAO. Estudos de Irrigação e Drenagem, 33), 1994.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979a. 212p. (FAO, Boletim, 33).

ELAWAD, S. H. & GREEN, J. R. V. E. Silicon and the rice plant environment: a review of recent research. **Revista IL RISO**, Milano, v. 28, p. 235-253, 1979.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 212p., 1997.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of plant physiology and plant molecular biology**, Palo Alto, v.50, p.641-664, 1999.

FAO – **Food and Agriculture Organization**. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> . Acesso em: 16 jul. 2009.

FARIA JUNIOR, L. A.; CARVALHO, J. G.; PINHO, P. J.; BASTOS, A. R. R. & FERREIRA, E. V. O. Produção de matéria seca, teor e acúmulo de silício em cultivares de arroz sob doses de silício. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n.4, p.1034-1040, 2009.

FARIA, R, J. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. 47p. Dissertação de Mestrado.

FARIAS, C.H.A.; FERNANDES, P.D.; AZEVEDO, H.M.; DANTAS NETO, J. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.4, p.356-362, 2008.

FARIAS, C.H. de A., **Otimização do uso da Água e do Zinco na Cana-de-açúcar em Tabuleiro Costeiro Paraibano**. 142 p. Tese (Doutorado Temático em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

FARIAS, C.H.A.; DANTAS NETO, J. FERNANDES, P.D.; GHEIY, H.R.; Índice de área foliar em cana-de-açúcar sob diferentes regimes de irrigação e zinco na Paraíba. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.20, n.4; p.45-55, 2007.

FASSBENDER, H. W. **Química de solos, com ênfase em solos de América Latina**. 2. ed. São José: IICA, 1987. 480 p.

FAZIO, P. I. & GUTIERREZ, A. S. D. **Uso de corretivos de acidez do solo comercializados no Estado do Espírito Santo**. Vitória: EMCAPA, 1989. 27p. (Boletim Técnico, 12).

FIORI, M. P. **Comportamento de cultivares de tomateiro quanto à utilização de escórias siderúrgicas em ambiente protegido**. Marília: Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade de Marília, 2006. 54p. Dissertação de Mestrado.

FORTES, J. L. O. **Eficiência de duas escórias de siderurgia, do Estado do Maranhão, na correção da acidez do solo**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1993. 66p. Dissertação de Mestrado.

FRIZZONE, J.A.; MATIOLI, C.S.; REZENDE, R.; GONÇALVES, A.C.A. Viabilidade econômica da cana-de-açúcar, *Saccharum* spp., para a região Norte do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.25, n.5, p.1131-1137, 2001.

GOMES, F. B.; MORAES, J. C. & NERI, D. K. P. Adubação com silício como fator de resistência a insetos-praga e promotor de produtividade em cultura de batata inglesa em sistema orgânico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n.1, p. 18-23, 2009.

GOMES, M.C.R. **Efeito da irrigação suplementar na produtividade da cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes, RJ**. Rio de Janeiro: UENF, 1999. 51 p. (Dissertação de Mestrado).

GONG, H.; CHEN, K.; CHEN, G.; WANG, S. & ZHANG, C. Effects of silicon on growth of wheat under drought. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 26, n.5, p. 1055-1063, 2003.

GONÇALVES, C.B. **Desempenho da cana-de-açúcar, quinta folha, sob diferentes níveis de irrigação e adubação de cobertura nos tabuleiros costeiros da Paraíba.** 67f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

GOUSSAIN, M. M.; MORAES, J. C.; CARVALHO, J. G.; NOGUEIRA, N. L. & ROSSI, M. L. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v.31, n.2, p.305-310, 2002.

HOWELL, T.A.; CUENCA, R.H.; SOLOMON, K.H. Crop Yield response. In: HOFFMAN, G.J.; HOWELL, T.A.; SOLOMON, K.H. (Org.) **Management at farm irrigation systems**. St. Joseph: The American Society of Agricultural Engineers, 1990. p.93-122.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, setembro de 2009. <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 14 de outubro de 2009.

JACKSON, M. L. Chemical composition of soils. In: BEAR, F. E. (ed.) **Chemistry of the soil**. 2.ed. New York: Reinhold, 1964. p. 71-141.

JONES, J.H. & HANDRECK, K.A. Silica in soils, plants, and animals. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.19, p.107-149. 1967.

KAYA, C.; TUNA; LEVENT & HIGGS, D. Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress conditions. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 29, p. 1469–1480, 2006.

KORNDÖRFER, G. H. & DATNOFF, L. E. Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 70, p.1-5, 1995.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S. & CAMARGO, M. S. Papel do silício na produção de cana-de-açúcar. **STAB Açúcar e Álcool e Subprodutos**, v.21, p. 6-9, 2002.

KORNDÖRFER, G. H.; NOLLA, A. & OLIVEIRA, L. A. **Aplicação de silicatos no solo**. [http:// www.dpv24.iciag.ufu.br/Silicio/Fontes %20de %20Si/fontes.htm](http://www.dpv24.iciag.ufu.br/Silicio/Fontes%20de%20Si/fontes.htm), acessado em 21/9/2009.

KORNDORFER, G. H. & LEPSCH, I. Effect of silicon on plant growth and crop yield. In: DATNOFF, L.E. et al. (ed.). **Silicon on agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. p. 133-147.

KRAMER, P.J. Water relations of plants. Academic Press, New York, p.489, 1983.

LI, Q. F.; MA, C. C.; LI, H. P.; XIAO, Y. L. & LIU, X. Y. Effects of soil available silicon on growth, development and physiological functions of soybean. **Chinese Journal of Application Ecology**, v. 15, p. 73-76, 2004.

MA, J. F.; HIGASHITANI, A.; SATO, K. & TAKEDA, K. Genotypic variation in silicon concentration of barley grain. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 249, p. 383-387, 2003. MA, J. F.; MIYAKE.

MALI, M. & AERY, N. C. Effect of silicon on growth, biochemical constituents, and mineral nutrition of cowpea. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 40, p.1041-1052, 2009.

MAGALHÃES, A.C.N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspectos do metabolismo do carbono na planta. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; TSUIOSHI, Y. (Org.) **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: POTAFOS, 1987, 247p.

MALI, M. & AERY, N. C. Effect of silicon on growth, biochemical constituents, and mineral nutrition of cowpea. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 40, p.1041-1052, 2009.

MAULE, R.F.; MAZZA, J.A.; MARTHA JÚNIOR, G.B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n.2, p.295-301, 2001.

MA, J. F.; MIYAKE. Y. & TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATNOFF, L. E., SNYDER, G. H., KORNDÖRFER, G. H (ed.). **Silicon in Agriculture: studies in plant science**. Amsterdam: Elsevier, 2001. v. 8, p. 17-39.

MEDEIROS, L. B.; VIEIRA, A. O.; DANTAS NETO, J.; BELTRÃO, N. E. de M. & AQUINO, B. F. Influência da escória siderúrgica sobre a produtividade e crescimento da cana-de-açúcar irrigada. **Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, v. 5, n. 3, p.192-202, 2008.

MEDEIROS, L. B.; VIEIRA, A. O. & AQUINO, B. F. Influência da escória siderúrgica sobre trocas gasosas e produção de biomassa da cana-de-açúcar. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 2, p. 121-129, 2009.

MENDONÇA, E.A. **Estimativa da evapotranspiração de referência no município de Capim-PB**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 114p., 2008.

MOURA, M.V.P.S.; FARIAS, C.H. de A.; AZEVEDO, C.A.V.; DANTAS NETO, J. AZEVEDO, H.M.; PORDEUS, R.V. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v.29, n.4, p.753-760, 2005.

NASCIMENTO, C.W.A., CUNHA, K. P. V. & RODRIGUES, F.A. Silício e tolerância de plantas a metais pesados e doenças. In: **Tópicos em Ciências do Solo**. – v. 6. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 273 – 318.

NELSON, C. J. & MOSER, L. E. Plant factors affecting forage quality. In: FAHEY JUNIOR, G. C.; COLLINS, M.; MERTENS, D. R.; MOSSER, L. E (ed.). **Forage**

quality, evolution and utilization. Madison: ASA, CSA, SSSA, 1994. Cap. 3, p. 115-154.

NERI, D. K. P.; GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; GÓES, G. B. & MARROCOS, S. DE T. P. Influência do silício na suscetibilidade de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) ao inseticida lufenuron e no desenvolvimento de plantas de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1633-1638, 2009.

NWUGO, C. C. & HUERTA, A. J. Effects of silicon nutrition on cadmium uptake, growth and photosynthesis of rice plants exposed to low-level cadmium. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 311, p.73-86, 2008.

ORIOLI JÚNIOR, V.; ARF, O.; COSTA, R. S. & BUZETTI, S. Modos de aplicação e doses de silício em dois cultivares de trigo cultivados em semeadura direta. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.9, n.3, p.377-383, 2008.

PEREIRA, H. S.; VITTI, G. C. & KORNDORFER, G. H. Comportamento de diferentes fontes de silício no solo e na cultura do tomateiro. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v.27, n.1, p.101-108, 2003.

PLUCKNETT, D. L. The use of soluble silicates in Hawaii agriculture. **University of Queensland Papers**, St Lucia, v. 1, p. 203-223, 1971.

PRADO, R. M. & FERNANDES, F. M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vaso. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.4, p.739-744, 2000.

PRADO, R. M. **Resposta da cultura da cana-de-açúcar à aplicação de escória silicatada como corretivo de acidez do solo - SP.** Ilha Solteira: Universidade Estadual paulista, 2000. 97p. Dissertação de Mestrado.

PRADO, R. M. & NATALE, W. Aplicação do silicato de cálcio em Argissolo Vermelho no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 4, p. 387-393, 2004.

PRADO, R. M. & KORNDÖRFER, G. H. Efeitos da escória de siderurgia sobre a cultura do milho (*Zea mays* L.) cultivado em um latossolo vermelho amarelo distrófico. **Científica**, Jaboticabal, v.31, n.1, p.9-17, 2003.

PRADO, R. M. & KORNDÖRFER, G. H. Efeitos da escória de siderurgia sobre a cultura do milho (*Zea mays* L.) cultivado em um latossolo vermelho amarelo distrófico. **Científica**, Jaboticabal, v.31, n.1, p.9-17, 2003.

PROCÓPIO, S.O.; SILVA, A.A.; VARGAS, L.; FERREIRA, F.A. **Manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 150p., 2003.

QURESHI, S.A.; MADRAMOOTOO, C. A.; DODDS, G. T. Evaluation of irrigation Scheme for sugarcane in Sindh, Pakistan, using SWP93. **Agricultural Water Management**, v.54, p.37-48, 2002

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, POTAFÓS, 1991. 343p.

RAIJ, B. V. & CAMARGO, O. A. Sílica solúvel em solos. **Bragantia**, Campinas, v. 32, p. 223-236, 1973.

RANA & KATERJI. Measurement and estimation of actual evapotranspiration in the field under Mediterranean climate: A review. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v.13, p.125-153, 2000.

REHMAN, A.U.; **Nitrogen requeriments of sugarcane varieties under different soil moisture regimes**. 539f. Tese (Doctor of Philosophy in Agronomy) – Indh Agriculture University, Tando Jam, 1995.

REZENDE, L.; SOUZA, I.; BARROS, N. & MILAGRES, J. **Eficiência agronômica do agrosilício, comparativamente ao calcário dolomítico, na correção do solo e na disponibilidade de Ca e Mg**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31, 2007, Gramado. **Anais...** Gramado: SBCS, 2007, CD Rom.

RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.** Washington: United States Salinity Laboratory, 160p. (USDA. Agriculture Handbook, 60), 1954.

RODRIGUES, J.D. **Fisiologia da cana-de-açúcar.** Instituto de Biociências – Universidade Estadual Paulista, 99p. (Apostila), 1995.

ROBERTSON, M.J. INMAN-BAMBER, N.G.; MUCHOW, R.C.; WOOD, A.W. Physiology and productivity of sugarcane with early and mid-season water deficit. **Field Crop Research**, Amsterdam, v.64, p.211-227, 1999.

SANTOS, M.A.L.; FRIZZONE, J.A. Irrigação suplementar da Cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) no mês de janeiro: um modelo de decisão para o Litoral Sul de Alagoas. **Irriga**. Botucatu, v.11, n.3, p.339-355, 2006.

SAVANT, N. K.; KORNDÖRFER G. H.; SNYDER, G. H. & DATNOFF, L. E. Silicon nutrition and sugarcane production: A review. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 12, n. 22, p. 1853- 1903. 1999.

SCARDUA, R; ROSENFELD, V. **Irrigação da cana-de-açúcar.** In: PARANHOS, S.B. coord. Cana-de-Açúcar: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v.1, cap.3, p.373-431.

SILVA, L. C. F. & CASAGRANDE, J. C. Nutrição mineral da cana-de-açúcar (macronutrientes). In: INSTITUTO DO AÇÚCAR E ÁLCOOL. **Adubação da cana de-açúcar no Brasil.** Piracicaba: PLANALSUCAR, 1983. p. 77-96. (Coleção, 2).

SILVA, L.C. **Crescimento e acúmulo de nutrientes em sete de cultivares da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) na região de Coururipe-AL.** 74f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2007.

SILVA, M.A.; CARLINS, S.D.; PERECIN, D. Fatores que afetam a brotação inicial da cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, Viçosa, v.51, n.296, p.457-466, 2004.

SILVA, C.T.S. **Efeitos de diferentes níveis de adubação, sobre a produção da terceira folha de cana, irrigada nos tabuleiros costeiros da Paraíba.** 82f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2003.

SILVA, M.A.; SILVA, J.A.G.; ENCISO, J.; SHARMA, V.; JIFON, J. Yield components as indicators of drought tolerance of sugarcane. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.65, n.6, p.620-627, 2008.

SKORA NETO, F. Uso de caracteres fenológicas do milho como indicadores do início da interferência causada por plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.21, n.1, p.81-87, 2003.

SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant.** 2. ed. New York: Cornell University press, 1994. 476p.

SOARES, W. R.; SEDIYAMA, G. C.; RIBEIRO, A.; COSTA, J. M. N. Coeficientes de cultura no estágio de desenvolvimento ($K_{c_{ini}}$) para diferentes texturas de solo. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.21, n.3, p.218-226, 2001.

SOUZA, E. F.; BERNADO, S.; CARVALHO, J. A. Função de produção da cana-de-açúcar em relação à água para três variedades em Campos dos Goytacazes. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.19, n.1, p.28-12, 1999.

SUGARCANE. **Soil requirement.** Disponível em: http://www.sugarcane crops.com/p/soil_requirement/>. Acesso em 09 jul. 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology.** Redwood City, Benjamin/Cummings. 1991, p. 565.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K. & ISHII, R. **Science of the rice plant: physiology.** Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1995. p. 420-433.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K. & ISHII, R. **Science of the rice plant: physiology**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1995. p. 420-433.

TOLLENAAR, M. Is low density a stress in maize? **Maydica**, Bergamo, v. 37, n. 2, p. 305-311, 1992.

VAN DER VORN P., D. J. Uptake of Si by five plant species as influenced by variations in Si-supply. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 56, p. 153-156, 1980.

VARELA, A.C.G. **Análise do comportamento morfofisiológico da cana-de-açúcar irrigada nos tabuleiros costeiros paraibanos**. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2002.

WIEDENFELD, R.P. Water stress during different sugar cane growth periods on yield and response to N fertilizer. **Agriculture Water Management**, v.43, p.173-182, 2000.

WIEDENFELD, B. Effects of irrigation water salinity and electrostatic water treatment for sugarcane production. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 95, p. 85-88, 2008.

YOSHIDA, S. **The physiology of silicon in rice**. Taipei: Food and Fertilization Technology Center, 1975. (Technical Bolletin, 25).